

**ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD DE LOS ENDOSCOPIOS EN
EL ÁREA DE GASTROENTEROLOGÍA PARA LA EMPRESA LM INSTRUMENTS**

S.A.

Tesis de grado

Jorge Luis Angulo Martinez

César Leonardo Farfán Guerrero

Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales

Facultad de Posgrados

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá

2016

TABLA DE CONTENIDO

1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
2.1. Problemática.....	1
2.2. Planteamiento del problema	1
2.3. Sistematización del problema.....	2
3. OBJETIVOS	3
3.1. Objetivo general	3
3.2. Objetivos específicos.....	3
4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN	4
4.1. Justificación.....	4
4.2. Delimitación	5
4.3. Limitaciones	5
5. MARCO REFERENCIAL	6
5.1. Marco teórico	6
5.1.1. Definición y características del endoscopio.....	6
5.1.2. Área de impacto: Gastroenterología	10
5.1.3. Mantenimiento de equipos.....	13
5.1.4. Mantenimiento de equipos médicos.....	17
5.1.5. Análisis de criticidad.....	19
5.1.6. Análisis de disponibilidad.....	22
5.1.7. Análisis de confiabilidad.....	23
5.2. Estado del arte	24
5.2.1. A nivel local	24
5.2.2. A nivel nacional	27
5.2.3. A nivel internacional	30
6. TIPO DE INVESTIGACIÓN	33
7. MARCO METODOLÓGICO	34
7.1. Recolección de información (criterios de información).....	34
7.2. Análisis de la información.....	38

7.3.	Propuesta de solución.....	54
7.4.	Resultados esperados.....	58
8.	FUENTES DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	60
8.1.	Fuentes primarias	60
8.2.	Fuentes secundarias.....	60
9.	ANÁLISIS FINANCIERO - RETORNO DE INVERSIÓN.....	61
10.	TALENTO HUMANO	64
11.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
11.1.	Conclusiones.....	66
11.2.	Recomendaciones	67
12.	REFERENCIAS.....	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de endoscopios de áreas de intervención.....	7
Tabla 2: Recolección de información - Fundación Santafé de Bogotá.....	36
Tabla 3: Recolección de información - Fundación Cardioinfantil.....	36
Tabla 4: Recolección de información - Hospital Universitario San Ignacio.....	37
Tabla 5: Recolección de información - Suramericana S.A.....	37
Tabla 6: Análisis de criticidad - Fundación Santafé de Bogotá.....	40
Tabla 7: Tabla de criticidad - Fundación Santafé de Bogotá.....	41
Tabla 8: Análisis de criticidad - Fundación Cardioinfantil.....	42
Tabla 9: Tabla de criticidad - Fundación Cardioinfantil.....	43
Tabla 10: Análisis de criticidad - Hospital Universitario San Ignacio.....	44
Tabla 11: Tabla de criticidad - Hospital Universitario San Ignacio.....	45
Tabla 12: Análisis de criticidad - Suramericana S.A.....	46
Tabla 13: Tabla de criticidad - Suramericana S.A.....	47
Tabla 14: Análisis de disponibilidad - Fundación Santafé de Bogotá.....	48
Tabla 15: Análisis de disponibilidad - Fundación Cardioinfantil.....	50
Tabla 16: Análisis de disponibilidad - Hospital Universitario San Ignacio.....	51
Tabla 17: Análisis de disponibilidad - Suramericana S.A.....	52
Tabla 18: Análisis de confiabilidad - General.....	53
Tabla 19: Propuesta de solución.....	56
Tabla 20: Resultados esperados.....	59
Tabla 21: Análisis de costos.....	62
Tabla 22: Retorno sobre la inversión (ROI).....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Partes internas de un endoscopio.....	9
Figura 2: Partes externas de un endoscopio.....	10
Figura 3: Matriz de criticidad.....	20

1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN

ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD DE LOS ENDOSCOPIOS EN
EL ÁREA DE GASTROENTEROLOGÍA PARA LA EMPRESA LM INSTRUMENTS S.A.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

2.1. Problemática

En el área de gastroenterología de los hospitales e instituciones prestadoras de salud, se tiene un flujo alto de pacientes los cuales son remitidos por especialistas para la realización de exámenes que descartan enfermedades en el sistema digestivo. Para esto es necesario el uso de tecnología biomédica la cual brinda un apoyo y soporte a los especialistas como herramienta diagnóstica y terapéutica en el proceso; el impacto de parada y costos de mantenimiento de los equipos generados por incorrecta manipulación, accesorios en malas condiciones o almacenaje de los mismos, genera una reducción de la capacidad para la prestación del servicio y la no atención de los pacientes.

2.2. Planteamiento del problema

¿La realización de un análisis de disponibilidad y confiabilidad de los endoscopios identificará los equipos críticos y facilitará la toma de decisiones sobre los activos de la institución?

2.3. Sistematización del problema

- ¿Mediante qué herramienta se puede determinar la importancia de los equipos en el área de gastroenterología?
- ¿Qué herramienta de análisis de disponibilidad y confiabilidad se debe aplicar en equipos críticos del área de gastroenterología?
- ¿Cómo puede aportar esta investigación a la toma de decisiones en cuanto a los activos del área de gastroenterología?

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Realizar un análisis de disponibilidad y confiabilidad en los endoscopios del área de gastroenterología de los clientes de la empresa Lm Instruments S.A. para facilitar la toma de decisiones.

3.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis de criticidad para los activos del área de gastroenterología de las entidades mencionadas.
- Identificar la herramienta de análisis de disponibilidad y confiabilidad a aplicar en equipos críticos del área de gastroenterología en las entidades de salud definidas.
- Proponer una matriz de decisión para establecer las acciones a ejecutar sobre los equipos del área de gastroenterología en las entidades de salud definidas.

4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN

4.1. Justificación

A nivel mundial las enfermedades gastrointestinales han tenido un incremento significativo en la población; donde por ejemplo, se presentan aproximadamente cada año 1.700.000.000 de casos de enfermedades diarreicas, con una tasa de mortalidad de 4,3% del total mundial, lo cual equivale a 2,46 millones de personas según la Organización Mundial de la Salud en el año 2008. Esto debido al estilo de vida, la alimentación o el entorno de crecimiento; por esta razón se ha aumentado la necesidad de especializar los servicios clínicos en los hospitales, los cuales se centran en un área de estudio específica para brindar a las personas un servicio de salud de alta calidad. Dentro de la necesidad generada por el mercado a nivel mundial, se creó un área de gastroenterología centrada en el estudio del sistema digestivo en vías superiores e inferiores, ya sea en los hospitales o centros especializados.

En Colombia la utilización de la endoscopia digestiva como práctica de diagnóstico, terapia o procedimental se ha vuelto muy común en los últimos años por la incursión de tecnología en el país y la necesidad de los profesionales de salud de apoyarse en equipos de alta gama. El aumento de visitas de la población a los hospitales, ha generado mayor demanda en el servicio y un incremento en el trabajo productivo de los endoscopios, lo que puede generar un mayor desgaste en el tiempo, mayor probabilidad de generación de fallas durante el procedimiento, reprocesamiento y traslado de los mismos dentro del servicio. Dentro de las fallas por manipulación se encuentran: la perforación de canales de trabajo y la generación de fugas positivas, los lentes fisurados y las cubiertas rotas; por desgaste: las perillas desviadas, el sellamiento de los empaques defectuoso y la ruptura en la malla de la sección de angulación.

El análisis de disponibilidad y confiabilidad para los activos de cualquier empresa o institución nos define un indicador de cada uno de estos y facilita los análisis para el área de ingeniería y responsable del servicio como una herramienta de apoyo, brindando una solución efectiva y eficaz en la generación de fallas de los endoscopios.

4.2. Delimitación

El análisis está enfocado para los equipos Olympus utilizados para endoscopias digestivas de las referencias 190, 180, 160, 150, 145, 140, 130, TE2 y PE2, de los clientes Fundación Santafé de Bogotá, Fundación Cardionfantil, Hospital Universitario San Ignacio y Suramericana S.A., para la empresa Lm Instruments S.A.; los cuales se encuentran ubicados en las áreas de gastroenterología de dichas entidades.

4.3. Limitaciones

- **Documental:** La falta de control en el área de ingeniería la cual es la encargada del manejo y archivo de los reportes de servicio en las hojas de vida de los activos del hospital, impediría el ingreso de los datos en la matriz de criticidad y los datos obtenidos no serían fiables para la culminación de los análisis y las posibles soluciones podrían llegar a incrementar costos de mantenimiento en los equipos.
- **Normativa:** Al ser un distribuidor de servicios en el área de salud, por políticas de confiabilidad y manejo de datos de los hospitales, los datos pueden ser retenidos y no se podría llevar a cabo la aplicación.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. Marco teórico

Con el fin de contextualizar el desarrollo del presente trabajo, es necesario conocer los diferentes aspectos conceptuales que se encuentran involucrados. Siguiendo este objetivo, se comenzará definiendo el endoscopio, mencionando sus características y el área en el que son utilizados; de igual manera se tratará el tema del mantenimiento en los equipos en general y en los equipos médicos, incluyendo el mantenimiento preventivo y correctivo. Por último, se abordará la definición y aplicación de la criticidad, del análisis disponibilidad y confiabilidad en los equipos.

5.1.1. Definición y características del endoscopio

Para poder abarcar el tema de una manera adecuada, es muy importante tener conocimiento de los conceptos básicos del contexto en el cual trabaja el equipo y las funciones que maneja, ya que es el inicio a lo que va a ser aplicado el análisis de confiabilidad. Un endoscopio es un dispositivo médico usado en las áreas de gastroenterología de los hospitales a nivel mundial y utilizado por médicos especialistas; éste se encarga de la detección de enfermedades del tracto digestivo, ingresando por un orificio natural del cuerpo o realizando una pequeña incisión para acceder al órgano que se quiera examinar.

Los endoscopios, que pueden ser flexibles o rígidos, permiten la visualización de las estructuras internas de los tejidos, por medio de sistemas de salida de video en tiempo real, lo cual hace que los resultados de los exámenes sean en menor tiempo y el diagnóstico de los pacientes sea oportuno en frente a la patología de desarrollo. Como características principales del funcionamiento de los endoscopios encontramos que se puede realizar una angulación en cuatro

posiciones: arriba, abajo, izquierda, derecha y la combinación de todas estas, la cual permite la movilidad dentro del tracto digestivo. Por medio del endoscopio se puede obtener muestras de tejidos (biopsias) para realizar análisis de laboratorio clínico, tratamiento terapéutico, extracción de cálculos, incisiones, control de hemorragias, extracción de pólipos, entre otros.

En la siguiente tabla se encuentran los tipos de endoscopios y los procedimientos que se pueden realizar con cada uno de estos, lo cual facilita la comprensión y familiarización de los equipos:

Tabla 1: Tipos de endoscopios y áreas de intervención

Tipo de endoscopio	Vía	Parte del cuerpo o área observada	Nombre del procedimiento
Artroscopio	Cortes en la piel	Articulaciones	Artroscopia
Broncoscopio	Boca o nariz	Tráquea y bronquios (conductos que van a los pulmones)	Broncoscopia Boncoscopia flexible
Colonoscopia	Ano	Colon e intestino grueso	Colonoscopia Endoscopia inferior
Cistoscopia	Uretra	Vejiga	Citoscopia Cistouretroscopia
Enteroscopia	Boca o ano	Intestino delgado	Enteroscopia
Esofagogastro-duodenoscopia	Boca	Esófago, estómago y duodeno (primera parte del intestino delgado)	Esofagogastroduodenoscopia (EGD) Endoscopia superior Panendoscopia Gastrosocopia
Hysteroscopio	Vagina	Interior del útero	Hysteroscopia
Laparoscopia	Corte(s) en el abdomen	Espacio dentro del abdomen y pelvis	Laparoscopia Endoscopia peritoneal

Laringoscopio	Boca o nariz	Laringe	Laringoscopia
Mediastinoscopio	Corte(s) encima del esternón	Mediastino (espacio entre los pulmones)	Mediastinoscopia
Sigmoidoscopio Sigmoidoscopio flexible	Ano	Recto y colon sigmoide (parte inferior del intestino grueso)	Sigmoidoscopia Sigmoidoscopia flexible Proctosigmoidoscopia
Toracoscopio	Corte(s) en el pecho	Espacio entre los pulmones y la pared torácica	Toracoscopia Pleuroscopia

Fuente: Sociedad Americana Contra El Cáncer (American Cancer Society) (2015)

El endoscopio está compuesto por fibras de luz encargadas de la transmisión de la luz emitida por una fuente de xenón o halógena hasta la punta del endoscopio y de iluminar la cavidad gastrointestinal. Adicional existen dos tipos de tecnologías para la visualización por fibra y por vídeo; las fibras de imagen están compuestas por filamentos de vidrio flexibles más delgados que el diámetro de un cabello humano, se encuentran organizadas en tubo flexible y se encargan de transmitir la imagen que se está colocando en el extremo hasta el final de estas, la señal de video generalmente es una cámara colocada en la punta distal del endoscopio la cual se conecta a un CCD que es un sistema de carga acoplada que permite la transmisión de la señal obtenida desde la punta del endoscopio, hasta el procesador; este se conecta a un monitor de video donde se pueden visualizar las imágenes y ser analizadas por el especialista.

Los endoscopios cuentan con unos cables de angulación que permiten el movimiento de la sección de angulación del equipo, la cual se encuentra en la parte posterior de la punta distal y los duodenoscopios con un cable adicional que permite la angulación del instrumental. La punta distal es el extremo de la sección de inserción en donde encontramos la cámara, salida del canal

de biopsia el cual es por donde atraviesa el instrumental por medio del equipo hacia el paciente desde el exterior hacia las vías digestivas, las fibras de luz, canales de limpieza de la cámara y canal de irrigación.

A su vez, cuenta con una sección de inserción el cual es flexible y por donde atraviesan todos los elementos internos del equipo (canales, cámara, fibras); la sección de agarre es donde se encuentran las perillas de angulación, por donde se realiza el ingreso del instrumental e interiormente cuenta con las cadenas de angulación del equipo, es donde se realiza la unión de los cables de la sección activa de angulación; cuenta con una válvula y puerto de irrigación y de succión; el tubo universal es por donde atraviesan las fibras de luz y el canal de succión del endoscopio hasta el conector eléctrico el cual es la interfaz eléctrica de los botones de control, cámara e identificación del equipo.

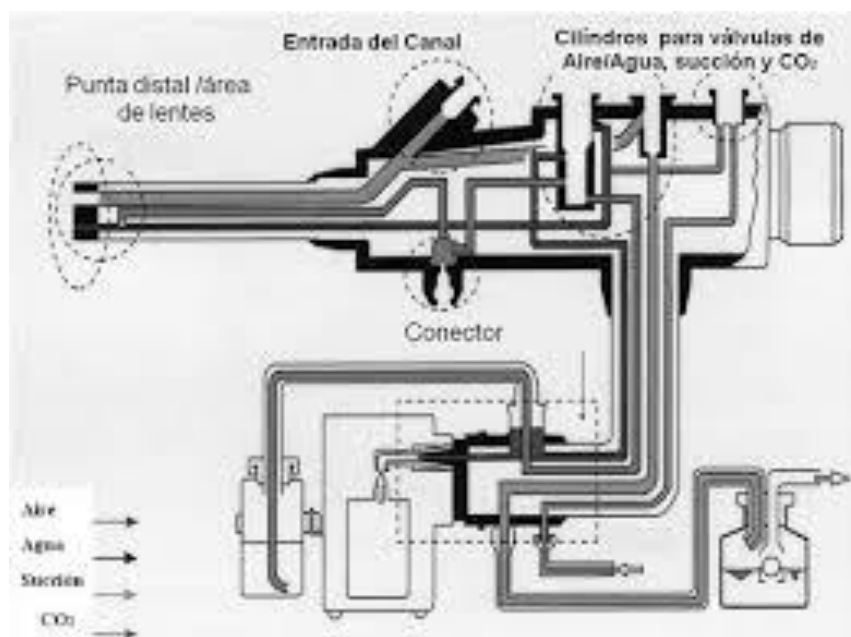


Figura 1: Partes internas de un endoscopio. Tomado de Federación Médica del Interior Uruguay (FEMI)

(2008)

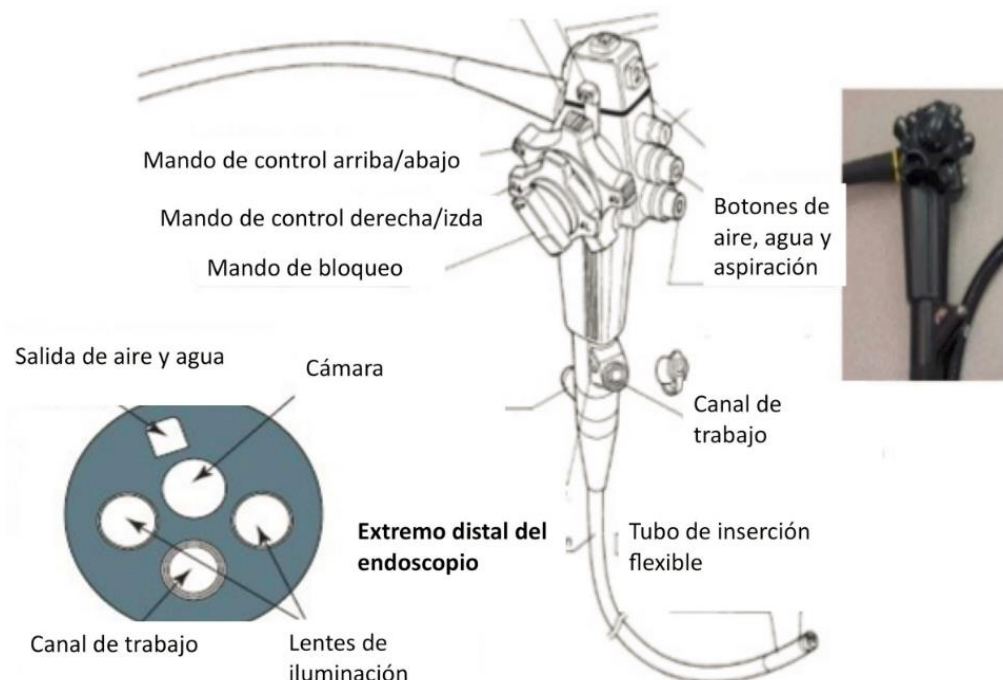


Figura 2: Partes externas de un endoscopio. Tomado de Alarcón (2016)

5.1.2. Área de impacto: Gastroenterología

Según la Resolución 2003 del 2014 emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social, el servicio de endoscopia digestiva o gastroenterología está categorizada en el grupo de apoyo diagnóstico y complementación terapéutica, donde describe el servicio como un área donde el personal médico, por medio de la tecnología de fibra o video, realiza los procedimientos en el tubo digestivo. Dentro de la resolución establecida, indica los estándares que se deben seguir para tener un área completamente habilitada y certificada para la prestación del servicio de alta calidad, entre los cuales tenemos:

- **Talento Humano**

El servicio debe contar con personal médico que dentro del desarrollo del pensum académico demuestren haber aprobado las habilidades y conocimientos establecidos para la especialidad requerida en endoscopia digestiva. De igual manera, se debe tener en cuenta que

dentro del área se cuenta con un personal de apoyo el cual es el encargado de asistir los procedimientos, limpieza y desinfección, alistamiento de los pacientes, concientización y firma de documentación antes del procedimiento, alistamiento del área de trabajo, almacenamiento de los equipos.

- **Infraestructura**

Para la infraestructura según la normativa establecida, es importante tener en cuenta los espacios necesarios para la construcción del área de endoscopia digestiva. Dentro de ellos, se debe contar con un área administrativa y de control de pacientes que es donde se permite el acceso al servicio, pagos, entrega de resultados y manejo de pacientes antes de los procedimientos. El área de procedimientos es donde el especialista realiza los diagnósticos y/o terapias a los pacientes. El área de recuperación es el lugar donde los pacientes después del procedimiento superan el proceso de sedación. El área de limpieza y desinfección, es donde se realiza el reprocesamiento a los endoscopios entre pacientes y es el área donde quedan en óptimas condiciones para evitar la contaminación cruzada. El área de almacenamiento de los endoscopios es donde se guardan los endoscopios después de los procedimientos para evitar los daños en los tiempos de inoperación del servicio.

- **Dotación**

El área debe contar con camillas con barandas, colchonetas, almohadas y ropa de cama. Adicionalmente se deben tener los equipos de endoscopia, ya sean flexibles o rígidos, los cuales se pueden dividir según la especialidad del procedimiento como son: colonoscopios, gastroscopios, duodenoscopios y sigmoidoscopios; estos deben estar conectados a una fuente de luz e instrumental determinado para llevar a cabo los procedimientos.

Entre los tiempos de los procedimientos se debe tener en cuenta la limpieza y desinfección de los endoscopios dentro de los cuales se realizan actividades como prelimpieza, prueba de fugas, cepillado, lavado completo, desinfección, enjuague y secado final. Se encuentra establecido que esto debe realizarse en 30 minutos entre procedimientos; también existe la opción de realizar este proceso automáticamente y se deben tener en cuenta los mismos pasos anteriormente mencionados, sumando la limpieza manual y el tiempo en que es efectiva la desinfección del equipo.

Para los accesorios, se debe definir el proceso de limpieza y desinfección por medio de un esterilizador o proceso establecido por los fabricantes, adicional en caso que se requiera enviar a la central de esterilización, se debe diligenciar el proceso documentado según lo establecido.

En caso de la prestación de procedimientos endoscópicos terapéuticos se requieren otro tipo de accesorios adicionales los cuales complementan el apoyo prestado a los especialistas de la salud dentro de los cuales se pueden tener agujas de inyección endoscópica, canastillas para extracción de cuerpo extraño y pólipos, dilatadores esofágicos, neumáticos y/o guiados, unidad electroquirúrgica con módulos de corte y coagulación, papilótomo e instrumental básico como soporte de procedimientos.

- **Procesos prioritarios**

Se coloca como una prioridad el proceso de aseo, limpieza, desinfección y esterilización del equipo según las recomendaciones establecidas por el fabricante.

- **Interdependencia**

Se debe tener disponibilidad de esterilización y transporte asistencias para cuando se realicen procedimientos bajo sedación grado I y II. Cuando se realicen endoscopias terapéuticas es completamente necesario contar con un servicio quirúrgico y hospitalización.

5.1.3. Mantenimiento de equipos

El mantenimiento de equipos es la ejecución de actividades que se realizan para mantener, corregir y prevenir las fallas que se presentan en los activos. Dentro de los tipos de mantenimiento se pueden definir los más importantes que son mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo.

En el libro “*Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas*” (Alonso, Cano, Fernández, García, & Solares, 1998), se encuentra que el mantenimiento preventivo nace de la necesidad de evitar los inconvenientes y pérdida de tiempo generados por el mantenimiento correctivo; en él se realiza una planeación específica para las piezas que son necesarias cambiar a periodos de tiempo establecidos teniendo en cuenta los análisis de datos estadísticos obtenidos, donde por medio de este se realizan cambios de piezas o ejecución de actividades programadas antes que se presenten las fallas.

Dentro de las actividades del mantenimiento preventivo se pueden destacar las limpiezas y verificaciones en tiempo planeado, mantenibilidad de funcionamiento de los equipos durante el tiempo de la vida útil, control de lubricación, concentración en puntos identificados como débiles y planificación de cambio de partes prioritarias.

Una de las principales ventajas que ofrece el mantenimiento preventivo, es la disminución de las fallas las cuales generan paradas, siempre y cuando se cumplan con las actividades de observación e intervención en los sistemas; al tener ciertas ventajas se puede evidenciar dentro de este modelo unos inconvenientes que pueden generar retrasos al momento de la implementación del sistema y uno de estos es la definición de la periodicidad de ejecución de las actividades, el pilar de este modelo es la optimización de los tiempos y una de las percepciones cuando se realiza la implementación es que la inclusión de la ejecución de actividades aumentan el costo y reducen la disponibilidad del activo. Como apoyo de la implementación del mantenimiento preventivo, se tienen las herramientas informáticas y estadísticas las cuales generan facilidad en la formulación teniendo como resultado los tiempos de intervención en los equipos.

Así mismo, Alonso et al. (1998) mencionan que el mantenimiento correctivo es más visto en pequeñas y medianas empresas, donde no se encuentra implementado un plan de mantenimiento y los equipos se intervienen hasta que se presentan las fallas es decir hasta que hay una interrupción definitiva del activo dentro de las funciones que el operador espera que ejecute. Dentro del mantenimiento correctivo se puede realizar la eliminación de averías que se presenta en el momento de realizar cambios a los elementos del equipo que se encuentran dañados, esta actividad se ejecuta bajo alta presión ya que es cuando se evita la parada de la producción.

También la eliminación de las causas es principal dentro del mantenimiento correctivo ya que no solo se limita a realizar el cambio y corregir las fallas encontradas, sino que analiza y elimina las causas que están generando el estado de la falla. Entre las ventajas conocidas de este

modelo, se puede definir el aprovechamiento de la reserva del activo y que no se requiere capacidad de análisis de infraestructura técnico y administrativa.

La aplicación de los mantenimientos correctivos es para el momento en que el costo total de las paradas generadas sea menor que el costo total por las acciones preventivas, esto generalmente se da para empresas industriales de pequeño tamaño y aplica en sistemas secundarios en donde no se afecta directamente la producción.

Teniendo en cuenta los conceptos básicos de mantenimiento y la aplicabilidad en los activos, existe un modelo que abarca estos dos campos e incluye el mantenimiento a los equipos tanto preventivo como correctivo, donde se realiza un análisis y control, este es el plan de mantenimiento.

El plan de mantenimiento son las actividades que se realizan a través de la programación, donde están involucrados algunos equipos de la planta y/o institución; se definen algunos, ya que existen equipos que es más económico dejarlos correr a falla. (Renovetec, 2013)

Dentro del plan de mantenimiento se pueden definir las actividades como las rutinarias, que son las que se ejecutan con el equipo en funcionamiento; las que actividades programadas que son las que están programadas dentro del plan en el año. Lo que soporta un plan de mantenimiento en realidad, son las actividades de mantenimientos que se deben ejecutar y, como lo menciona Renovetec (2013), las partes que lo componen son: frecuencia, especialidad, duración actividad y permisos especiales para intervenciones del activo.

La frecuencia es el tiempo en que se van a establecer y ejecutar los mantenimientos, se deben ejecutar en las fechas acordadas para así mismo garantizar la efectividad del plan, evitar

averías y disminuir el tiempo medio entre fallas generadas por fallas en los equipos que causan las condiciones ambientales.

Las especialidades se definen directamente en jerarquizar por procesos las actividades que ejecuta cada uno de los equipos, donde así mismo se puede definir el tipo de especialista que va a intervenirlo; esto puede generar disminución de tiempos de mantenimiento y aumento de la confiabilidad del activo en los procesos a ejecutar.

Dentro de estos se tiene un adicional pero es de información importante que se da al plan de mantenimiento, y esta es la duración de ejecución de la actividad, donde se debe incluir los tiempos que se pueden generar por errores.

La máquina en marcha, se puede decir que ofrece una de las informaciones más importantes para el operador, ya que es donde se avisa según el plan de mantenimiento si la máquina se puede intervenir en uso o se debe parar la operación para realizar la ejecución de estos.

Para la implementación de un plan de mantenimiento se pueden tener en cuenta tres modos que hacen que la ejecución sea efectiva y se abarquen los temas para los cuales está propuesto. La primera, agrupar y seleccionar las instrucciones que ofrece el fabricante realizándolo como rangos de mantenimiento, la cual puede ser una técnica efectiva pero para largo plazo de implementación. También, se pueden seleccionar los equipos por tipos, por familias, referencias, características de funcionamiento, etc., donde a cada uno de estos se les realiza un protocolo de mantenimiento en el cual se definen las tareas a ejecutar. Por último, y una de las maneras más comunes de realizar el plan de mantenimiento, es el análisis de las fallas ya que es la técnica más completa y contundente para la ejecución (Renovetec, SF).

5.1.4. Mantenimiento de equipos médicos

La Organización Mundial de la Salud en su documento *“Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos”* (2012), menciona que los equipos médicos desempeñan un papel importante en las instituciones prestadoras de salud, ya que estos se encargan de apoyar a los profesionales de la salud para la prevención, diagnóstico y/o tratamiento de los pacientes. Por esta razón, los estados médicos decidieron colocar en consideración para el estudio la estandarización de los procedimientos para brindar mayor calidad de los productos médicos y tecnologías sanitarias a la Organización Mundial de Salud.

Así mismo se afirma que, los equipos médicos, al igual que cualquier equipo industrial, requieren de un mantenimiento para la asegurar la calidad, fiabilidad y certeza de los datos en el diagnóstico, el tratamiento o la terapia que se realiza a los pacientes. Dentro de las rutinas básicas aplicables a los equipos médicos se da el listado de rutinas a ejecutar, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo; estas actividades anteriormente mencionadas se definen en el plan de mantenimiento que es donde la persona encargada del área de ingeniería se encarga de analizar desde los costos, vida útil de los equipos, tareas, rutinas a ejecutar, tiempos y talento humano.

Dentro de las definiciones básicas en el mantenimiento de equipos médicos se debe tener en cuenta (Organización Mundial de la Salud, 2012):

- **Prueba de recepción:** Es cuando se realiza las pruebas iniciales del equipo antes de ser utilizado por el servicio. Los datos pueden ser almacenados en el software de mantenimiento.

- **Calibración:** Es la actividad con la cual se realiza verificación y certificación de los parámetros que están emitiendo los equipos médicos; la calibración se debe ejecutar para los equipos que midan, pesen o cuenten dentro de un intervalo establecido.
- **Ingeniero Clínico:** Es un profesional de apoyo en la institución el cual atiende a los pacientes por medio de los conocimientos de ingeniería sobre la gestión de la tecnología médica.
- **Departamento de ingeniería clínica:** Es el grupo de encargados de la gestión de mantenimiento para la tecnología médica.
- **Nomenclatura descriptiva común:** Es el nombre que se le da a los equipos médicos en donde se debe seguir con el estándar internacional sin cambio alguno, para el reconocimiento del funcionamiento y aplicabilidad.
- **Mantenimiento correctivo:** Actividad que se realiza para la corrección de una falla. También se le denomina reparación.
- **Desperfecto:** Son las condiciones por las cuales un equipo médico no cumple con las características para las cuales está diseñado.
- **Inspección:** Es el conjunto de actividades que se ejecutan para garantizar que la tecnología médica se encuentra en óptimas condiciones.
- **Inspección y mantenimiento preventivo:** Es la serie de actividades programadas las cuales se encargan de la verificación de los equipos médicos y la mantenibilidad de la tecnología médica.

- **Inspección de funcionamiento:** Son las verificaciones de funcionamiento que se realizan a los equipos donde se compara el funcionamiento junto con los manuales y especificaciones emitidas por el fabricante.
- **Mantenimiento predictivo:** Es la actividad que se ejecuta para realizar cambios de partes antes de estas fallen, garantizando el correcto funcionamiento de la tecnología médica.
- **Mantenimiento preventivo:** Es la actividad que se realiza para prolongar la vida útil de los activos a intervalo definido.
- **Restauración:** Es la actividad que se realiza para que el dispositivo vuelva a funcionar correctamente.
- **Inspecciones de seguridad:** Es la serie de actividades que se realizan en las partes eléctricas y mecánicas garantizando que un dispositivo es seguro.

Los factores clave que se deben seguir para la implementación dentro de un plan de mantenimiento en la parte hospitalaria son (Organización Mundial de la Salud, 2012):

- **Inventario:** Es la definición de los equipos que van a ser incluidos dentro del plan de mantenimiento.
- **Metodología:** Es la forma que se va planear la ejecución de los mantenimientos.
- **Recursos:** Dentro de estos están los financieros, materiales y talento humano.

5.1.5. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad permite organizar por niveles de importancia un equipo, un sistema o los elementos de un equipo. Además es una herramienta para el área de mantenimiento

ya que facilita la toma de decisiones de los activos centralizando los esfuerzos en los equipos de mayor importancia o los que están generando alto impacto. (Romero, 2013)

Para el análisis de criticidad se debe realizar una matriz de frecuencia de fallas por la prioridad de las fallas de la siguiente manera:



Figura 3: Matriz de criticidad. Tomado de Romero (2013)

Por medio de los colores se puede ubicar el sistema o equipo que se esté analizando según sea el caso. Para hallar la criticidad se debe multiplicar la probabilidad o frecuencia de fallas por la suma de las consecuencias de las fallas de la siguiente manera:

$$\text{CRITICIDAD} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Los pasos para la definición del análisis de criticidad son (Romero, 2013):

1. **Definir el nivel de análisis:** Se debe identificar sobre qué se va a realizar el análisis de la criticidad, la ubicación, el funcionamiento del equipo, el registro de fallas funcionales con frecuencia, el impacto de la producción y el registro de los impactos de los procesos.

2. **Definir la criticidad:** En este punto se debe determinar la frecuencia de las fallas, en donde por medio de este se definen valores para determinar el tiempo promedio entre las fallas. Para definir las consecuencias de las fallas se deben tener en cuenta cinco criterios que son: daños por el personal, impacto a la población, daños a las instalaciones, impacto en producción e impacto al ambiente.
3. **Calcular la criticidad:** Se aplica la fórmula anteriormente mencionada para definir los niveles en los que se encuentran los equipos, de estos datos se ubican los activos dentro de la matriz.
4. **Análisis y validación de resultados:** Se debe realizar una evaluación de verificación de los activos rectificando si los niveles obtenidos son los datos correctos o si se deben tener en cuenta datos adicionales que aporten en la matriz para unos resultados más confiables
5. **Definir el nivel de análisis:** Teniendo como resultado la organización del activo, proceso o parte analizada se puede realizar la organización y la priorización de las partes que van a ser intervenidas.
6. **Determinar la criticidad:** Se deben ubicar los datos y analizar las causas reales que están impactando y están generando el comportamiento del activo; dentro de esto se recomienda realizar un análisis de confiabilidad para completar el estudio y llegar a la causa raíz de las fallas para así mismo facilitar la toma de las decisiones.
7. **Sistema de seguimiento y control:** Después de la toma de decisiones se debe implementar un sistema el cual permite la medición de las acciones ejecutadas donde se puede evidenciar los cambios y verificar el nivel de efectividad.

5.1.6. Análisis de disponibilidad

Esta es una herramienta que aporta valores y estructura a la gestión de mantenimiento, para tener una visión más concreta de los datos que se obtienen por criticidad, confiabilidad o mantenibilidad. Para realizar el análisis de disponibilidad se debe tomar la ecuación, analizar a través de tiempo medio entre fallas y tiempo medio entre reparaciones.

La disponibilidad se define como la confianza en que un activo realice lo que espera el operador en un tiempo determinado después de ser intervenido por el personal de mantenimiento, la ecuación de disponibilidad se basa en Laplace (ReliabilityWeb, SF):

$$P(A) = \frac{\text{casos favorables}}{\text{casos posibles}}$$

Por ser una probabilidad matemática es un dato estadístico determinada por el número de paros ocurridos en un activo. La ecuación propuesta dentro del sistema es:

$$R = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

Donde:

MTBF = es el tiempo medio entre fallas

MTTR = Es el tiempo medio entre reparaciones

Realizando la comparación con la ecuación de Laplace, el número de casos favorables es el tiempo medio de las fallas y los casos posibles es la suma de entre fallas y reparaciones, definiéndola como la ecuación básica para el cálculo de la disponibilidad.

Para hallar el MTTR y MTBF es necesario tener paros por mantenimiento y cantidad de estos paros de esta manera:

$$MTBF = \left[\frac{h_T}{p} \right] \times 100$$

$$MTTR = \left[\frac{h_p}{p} \right] \times 100$$

Donde:

h_T = Horas trabajadas durante el periodo de evaluación

P = # de paros durante la operación

h_p = horas de paro durante el periodo de evaluación

5.1.7. Análisis de confiabilidad

La confiabilidad se define como la capacidad que tiene un activo para realizar la función básica para la cual está diseñado, bajo condiciones normales de operación. También se puede definir como la probabilidad de un activo realice la función en un tiempo establecido. (Mesa, Ortíz, & Pinzón, 2006)

La confiabilidad se puede expresar de la siguiente manera:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Donde:

$R(t)$: Confiabilidad de un activo definida en un tiempo determinado

e : Es la constante neperiana ($e = 2,303$)

λ : Tasa de fallas

t : Tiempo

5.2. Estado del arte

En el campo médico, los estudios de implementación de análisis de confiabilidad en caso que hayan sido ejecutados, no han sido documentados o el acceso a la información es limitada, por esta razón se debe tener en cuenta que los planes de mantenimiento aplican para cualquier activo dependiendo del enfoque y resultados que se esperan por parte del ejecutor, es por esto que podemos encontrar estudios que se aplican en la industria química, mecánica, aeronáutica entre otros y los resultados de aplicación de estos sistemas son favorables.

5.2.1. A nivel local

- En el año 2011, los estudiantes Juan Camilo Pimiento Páez, John Alejandro García e Iván Fernando Prieto Garzón, de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, del programa Especialización en Gerencia de Mantenimiento, desarrollaron como tesis de grado el *“Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad para una máquina prensa para la fabricación de clavos en una empresa manufacturera”*, el cual, dentro de la definición del problema, expresa la disponibilidad del activo en un porcentaje de 73,3% para un periodo estimado de cinco años, donde la solución expuesta es la aplicación de un RCM para poder incrementar este indicador. Encontraron que una de las causas para la generación de las fallas, era la manipulación del operador de mantenimiento. Como conclusión después de la aplicación del RCM, con tablas y propuestas de resultados, exponen la viabilidad del diseño, ya que se tiene seguimiento a partir de las funciones y se estandarizan los procesos para el área de mantenimiento.

- En el año 2011, los estudiantes Alcides López Camelo y Juan Sebastián Pedraza, de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, del programa Especialización en Gerencia de Mantenimiento, desarrollaron como tesis de grado el *“Análisis de confiabilidad a las bombas*

principales de inyección de agua para la extracción de crudo por medio de la distribución de Weibull en Campo San Francisco de Hocol S.A.”, en donde se centraron en la medición del indicador, para así mismo, enfocar y recomendar a las personas que se encuentran incluidas dentro del proceso de mantenimiento, estrategias que aportan en el aumento del indicador para lograr que las intervenciones en los activos sea de manera adecuada y eficaz, disminuyendo los tiempos de parada. Como herramienta de trabajo para el análisis de los datos, utilizaron el software Reliability and Maintenance Analyst, a través del cual pudieron graficar los modos de fallas en datos estadísticos. Para ingresar los datos al programa, tuvieron que obtener previamente los MTBF en horas y continuar con el proceso de entrega de resultados.

- En el año 2012, los estudiantes José Alfredo Páez Ibáñez y John Montoya López, de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, del programa Especialización en Gerencia de Mantenimiento, desarrollaron como tesis de grado el *“Diseño de un plan de lubricación centrado en confiabilidad para el sector industrial”*, en donde propusieron y desarrollaron el programa en los siguientes pasos:

- 1) Evaluación y capacitación: Donde definieron el punto en el que se encontraba la empresa en el tema de la lubricación y el nivel de confiabilidad. Para la capacitación proponen realizar nivelación de conocimientos de todos los técnicos.
- 2) Corrección en los equipos: Desarrollan un plan de acción en donde se puede recuperar cada uno de los activos en su punto de lubricación y funcionamiento.
- 3) Plan de lubricación preventiva: A partir de la puesta en marcha y corrección de los puntos críticos, definieron un programa donde se ejecute periódicamente este tipo de mantenimiento. Dentro de estos, proponen incluir los indicadores de gestión MTTR y de resultado MTBF.

4) Lubricación basada en condición: Una vez realizada y organizada por criticidad, se aplica la estrategia de lubricación predictiva para aquellos que aumentan la confiabilidad.

5) Mejoras en lubricación: En este punto proponen y evalúan nuevos diseños para los sistemas de lubricación, entre estos se encuentra la automatización.

6) Lubricación sostenible: Este último paso se centra en el respeto y contribución con el medio ambiente, donde se expresan puntos a desarrollar a partir de la lubricación.

- En el año 2012, los estudiantes Wilson Rincón Barbosa y Luis Hernando Sánchez Urrego, de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, del programa Especialización en Gerencia de Mantenimiento, desarrollaron como tesis de grado un *“Análisis de causa raíz (RCA) para optimizar la confiabilidad de los activos informáticos de la Previsora S.A. compañía de seguros”*, el cual se centró en el estudio de las CPU's, donde dividieron en seis grandes grupos para tener una clasificación y poder aplicar un análisis de criticidad para facilitar el análisis de los datos. Posterior a esto, aplicaron los datos a la fórmula de confiabilidad, encontrando que los equipos que presentaban mayor número de fallas, eran los menos confiables, más críticos y generadores de aumento de los costos en la institución, es decir, encontraron los equipos sobre los cuales se deberían trabajar y enfocar los esfuerzos. Tomaron análisis de las causas de las fallas y propusieron una solución para cada uno de estos, en donde el objetivo de reducción de las fallas de los equipos en horas es de 919 a 643, con una disminución de costos de \$3.719.761.

- En el año 2012, los estudiantes José Santos Hernández Prieto y Oscar Molano Ávila, de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, del programa Especialización en Gerencia de Mantenimiento, desarrollaron como tesis de grado la *“Propuesta de utilización de RCM para*

aumentar la confiabilidad/disponibilidad en buses articulados del Sistema Transmilenio”, en donde desarrollaron una metodología para garantizar la fiabilidad de datos planeados y los reales, pensados en los tiempos de mantenimiento, dividieron las fallas por sistemas del equipo y hallaron un porcentaje de incidencia en cada uno de estos, para así mismo, poder aplicar una criticidad por sistemas. Además, desarrollaron la aplicación de las siete preguntas del análisis de RCM por análisis de fallas AMEF; esto facilitó la toma de decisiones y la implementación de los intervalos de la frecuencia de intervención por sistemas. Finalmente analizaron los costos y presentaron los resultados para cada una de las empresas contratistas. (Hernández & Molano, 2012)

5.2.2. A nivel nacional

- En el año 2003, los estudiantes Luis Carlos Piñeros Vergara y Diego Alonso Castaño Alzate, de la Universidad Tecnológica de Pereira, realizaron un “*Estudio de confiabilidad del sistema de distribución de Pereira utilizando el método de simulación Montecarlo*”. Tuvieron en cuenta tres sistemas para el análisis los cuales fueron: línea general, partidores y transformadores. A estos, les sacaron la cantidad de fallas por un tiempo establecido, para así mismo hallar el MTBF Y MTTR que afecta el sistema. Con los datos obtenidos, realizaron la alimentación al simulador para poder de manera exponencial realizar un análisis de las fallas durante el tiempo y visualizar el sistema durante la cantidad de años estimada y posibilidad de análisis de gráficas para la toma de decisiones. Realizando como recomendación la implementación de un sistema de control y diligenciamiento a las fallas, clasificado por eventos de falla; esto, para poder utilizar los datos más confiables.

- En el año 2004, los estudiantes José Luis Arzuaga Salazar y Luis Felipe Gutiérrez Castillo, de la Universidad Industrial de Santander, para la Especialización de Gerencia de Mantenimiento desarrollaron un *“Análisis de confiabilidad para los equipos de bombeo de aguas residuales”*. En donde, se enfocaron en los datos de abril del 2000 y noviembre de 2003, centrándose en las fallas de las bombas por estaciones. En este caso, hallaron la confiabilidad para poder encontrar el tiempo medio entre las fallas para cada una de las estaciones y los tiempos de reparación para cada una de estas. Decidieron organizar en una matriz por componentes, la confiabilidad donde los criterios de evaluación fueron de 30 a 180 días de ocurrencia de las fallas. Plantearon una solución para cada uno de los sistemas y lo simularon por medio del software EPANET, en donde pudieron demostrar que la confiabilidad en el sistema de bombeo aumentaba al realizar las intervenciones en los equipos.

- En el año 2009, el estudiante Roberto Carlos Orozco Majul de la Universidad Industrial de Santander, para la Especialización de Gerencia de Mantenimiento, desarrolló la *“Implementación de mantenimiento basado en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en Buzca S.A.”* Como en todos los análisis, comenzó realizando la recolección de los datos para los cuales aplicó el análisis de la criticidad teniendo en cuenta los criterios de evaluación basado en conceptos de riesgo. Teniendo como base la criticidad, analizó la disponibilidad de un equipo en los últimos 9 meses del año donde pudo evidenciar y graficar los datos obtenidos en el estudio. Así mismo lo realizó con la confiabilidad y la mantenibilidad para poder cruzar la información y obtener los datos para la toma de decisiones sobre los equipos analizados.

- En el año 2009, los estudiantes Omar Andrés Burgos Sequeda y Álvaro Luis Lobelo Díaz, para la Especialización en Gerencia de Mantenimiento, de la Universidad Industrial de Santander, desarrollaron un “*Estudio de confiabilidad para los equipos críticos de la línea de producción planta 1 de Propilco S.A. y la línea de producción compuestos 3 de Ajoever S.A.*”, en donde los autores definieron un estudio de criticidad para cada uno de los elementos y, evaluando a las empresas de manera individual, tuvieron en cuenta aspectos como, seguridad ambiental, seguridad en las personas, impacto operacional, frecuencia entre fallas y costos de mantenimiento. Teniendo los equipos más críticos durante el proceso, aplicaron la confiabilidad por Weibull en donde hallaron las variables y la relación que existe entre la mantenibilidad y la confiabilidad gráficamente para cada una de las empresas analizadas. A partir de los datos obtenidos, se tomaron acciones para cada uno de los elementos que encontraron y las acciones fueron remitidas a cada una de las empresas analizadas para así mismo aumentar la confiabilidad el cual era el tema de centralización del trabajo.

- En el año 2012, el estudiante Yezid Camilo Ramírez Manchola, de la Universidad San Buenaventura, desarrolló como trabajo de grado un “*Análisis de confiabilidad para la flota de aeronaves de la Escuela de Aviación del Pacífico*”; como en los anteriores estudios se comienza por la recolección de datos, con la diferencia que la aviación en temas de mantenimiento y control es uno de las áreas más avanzadas que cuentan con un departamento de dirección y mantenimiento en donde está incluido entre sus procesos la confiabilidad. El estudiante realizó el análisis de los tiempos de vuelo de las diferentes aeronaves donde tuvo en cuenta los tiempos de parada, de vuelo, carga de la aeronave y pilotos que estaban al mando. En cada una de los desarrollos realizó una tabla de informe que se debe llenar según procedimiento y, además,

amplió la información con un análisis de disponibilidad de las aeronaves. Así mismo, concluyó como efectivo el análisis de confiabilidad para mejorar las fallas de los sistemas y componentes en la escuela, ajustado con la Aeronáutica Civil.

5.2.3. A nivel internacional

- En el año 2006, la estudiante Haydeé Barrios Perlaza de la Universidad Simón Bolívar de Venezuela del programa de Ingeniería de Materiales, desarrolló un “*Análisis de confiabilidad del mejorador de Petrozuata utilizando el programa Meridium*”, donde por medio del software de implementación, creó perfiles para cada una de los componentes del equipo, donde facilitó el ingreso de los datos y control de los mismos; a este le realizó un análisis pareto (criticidad) para priorizar la mayor cantidad de equipos que se van a tener en cuenta durante el estudio. Analizó los equipos más críticos y aplicó confiabilidad por Weibull por medio del software y así mismo se le facilitó la graficación para cada uno de los componentes evaluados, desarrollando así mismo la toma de decisiones sobre cada uno de los equipos analizados.

- En el año 2010, José R. Aguilar Otero, Rocío Torres Arcique y Diana Magaña Jiménez realizaron un “*Análisis de modo de falla, efectos y criticidad para la planeación de mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad para una planta endulzadora de gas*”. Ellos realizaron un estudio avanzado a partir del análisis de criticidad de la planta, en donde los elementos no críticos lo manejan con mantenimiento genérico o rutinario; por el contrario, los dos niveles más altos, los ingresan a un proceso de análisis de modo falla, efectos y criticidad (FMECA) y los que a la salida les presenta una frecuencia de falla alta, les aplican un proceso de RCM para poder implementar una selección de tareas de mantenimiento. Para la definición, dentro de las tareas a ejecutar están las matrices de riesgo, en donde se ubican los

diferentes eventos y pueden ofrecer la solución efectiva. Así garantizaron que la confiabilidad en el sistema de endulzamiento del gas cuente con una confiabilidad alta y están haciendo la medición de todas las tareas y fallas que se están presentando en el sistema. Concluyen que los análisis, para que sean ágiles, deben ser manejados por personal que tenga conocimiento y entienda la prioridad del sistema para que así mismo no se convierta en una pérdida de tiempos y paradas de producción innecesaria.

- En el año 2011, los Ingenieros Ramón Sánchez Sánchez, Manuel Francisco Fernández Montiel, Eder Uriel Martínez Sandoval y Roberto Valdez Vargas; presentaron en el IX Congreso Internacional en Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cuernavaca, (México) un “*Análisis de confiabilidad de una planta de fuerza*”, donde expresaron los diferentes tipos de sistemas con los que cuenta y la aplicación matemática para el desarrollo de cada uno de estos. Los ponentes realizaron el desarrollo de la confiabilidad para toda la planta (norte, sur y subestación). El análisis de confiabilidad lo realizaron para un tiempo de 24 horas resultando la confiabilidad del 99,75%. Así mismo, dentro del estudio se incluyó el análisis para una planta de refinería donde se define la confiabilidad en un 99,99%. Llegaron a la conclusión, que incluso eliminando bombas dentro de los sistemas podrían soportar la operación al 100% con una alta confiabilidad.

- En el año 2014, el estudiante Miquel Prat Planas de la Universitat Politècnica de Catalunya (España) desarrolló un “*Análisis de fiabilidad, criticidad, disponibilidad, capacidad de mantenimiento y seguridad de una impresora digital*”, en donde analizó un equipo de impresión industrial de alta calidad. Utilizó el software salesforce.com para el análisis de los datos e implementó un análisis pareto para cada uno de los sistemas de la impresora, donde

organizó en una matriz las variaciones de las fallas y ubicó por niveles de criticidad los diferentes elementos. Así mismo, utilizó cada una de las fórmulas expuestas durante el desarrollo del trabajo y citó los datos correspondientes para la solución del proyecto. Como conclusión, brindó diferentes puntos de vista los cuales, al ser tenidos en cuenta, logran el aumento de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad garantizando el correcto funcionamiento de la impresora.

- En el año 2014, el estudiante Lenin José Aguilar Apolo de la Universidad Central de Ecuador, desarrolló un “*Estudio de confiabilidad en equipos de bombeo, mediante análisis de fallas en los bloques 14 y 17*”, en donde tomó el listado del sistema, lo caracterizó por funcionalidad y bloques, realizó el análisis de modo de falla para cada uno de los procesos, comparando con gráficas cada uno de los componentes para el comportamiento de las fallas dentro de cada uno de estos, para así mismo poder definir la confiabilidad en los elementos encontrados en el sistema. A pesar de ser un trabajo extenso y tener un listado amplio de elementos a analizar, se facilitó la toma de decisiones y recomendaciones para ejecutar y así mismo aumentar la confiabilidad del sistema de extracción del petróleo.

6. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tema que se abordará analiza la disponibilidad y confiabilidad de los endoscopios para el área de gastroenterología de los clientes de la empresa Lm Instruments S.A. que se encuentran habilitados en el servicio con la norma vigente. Puesto así, la presente investigación es un estudio de caso que permitirá el análisis de los equipos más críticos en las instituciones, para así mismo poder brindar unas soluciones específicas y ofrecer un apoyo desde el área de ingeniería.

7. MARCO METODOLÓGICO

Los equipos que se evaluarán se encuentran dentro de un plan de mantenimiento, donde por medio de estadísticas y comportamiento a lo largo del tiempo han presentado fallas o estas han sido ocasionadas por los operadores. Se tomará el listado de los equipos por referencias y se realizará un análisis de criticidad a los equipos para definir tres niveles: críticos, medianamente críticos y no críticos. Se tomarán los dos niveles altos de criticidad (alto y medio), se ejecutará un análisis de disponibilidad y confiabilidad de los endoscopios, el cual indica el nivel de cada uno de estos dentro del servicio y, de esta manera, se podrá establecer las posibles decisiones que se deben tomar sobre los endoscopios para aumentar su desempeño y evitar errores por parte de los operadores.

7.1. Recolección de información (criterios de información)

La empresa Lm Instruments S.A. cuenta con el software SAP por medio del cual se realiza el control de los clientes para toda la compañía. En el sistema cada cliente cuenta con un registro de las personas más relevantes de los procesos y en el módulo de mantenimiento cada uno de los equipos tiene un espacio que es la hoja de vida (tarjeta del equipo) donde cada serie se liga a cada uno de los clientes predeterminados.

En esta hoja de vida se registra dentro de un espacio denominado la llamada de servicio, el tipo de mantenimiento que requiere el equipo junto con las fechas y horas de paradas de los equipos; los técnicos tienen la posibilidad dentro de esta llamada de crear una serie de actividades asociadas con el tipo de llamada para llevar el control de acciones ejecutadas del activo y estado actual de este.

Para tener un mayor control de las llamadas, estas deben tener una fecha de finalización y entrega del equipo a los clientes, para así mismo tener datos reales de los tiempos de paradas de dichos equipos; los datos quedan almacenados en la hoja de vida de cada equipo y al momento de hacer una búsqueda se puede verificar las características de los equipos, cantidad de fallas generadas dentro de un tiempo determinado, causas de las fallas, registro de mantenimientos preventivo y correctivo.

Así mismo, al realizar la búsqueda por cliente, aparece la información del inventario de los equipos con los cuales cuenta el cliente, siendo esta la base para el análisis el cual se dará estudio.

Los pasos que se desarrollarán para la recolección de la información son los siguientes:

1. Definición de los clientes a los cuales va a ser aplicado el caso de estudio.
2. Identificación del inventario de los equipos que se encuentran en el servicio.
3. Extracción de las referencias y series de los equipos.
4. Identificación de los tiempos de parada, fechas, horas y cantidad de fallas presentadas por el equipo.

Para comenzar se tuvieron en cuenta cuatro clientes que son definidos como de alto impacto para la compañía Lm Instruments S.A. por criterios y decisión interna, los cuales son: Fundación Cardioinfantil, Fundación Santafé de Bogotá, Hospital Universitario San Ignacio y Suramericana S.A.

Los datos extraídos para cada uno de los clientes seleccionados son los siguientes:

Tabla 2: Recolección información - Fundación Santafé de Bogotá

#	Serie	Referencia	# Correctivos	TIPO DE REPARACIÓN			Fecha de ingreso	Fecha de salida	Causa
				Menor	Intermedia	Mayor			
1	2140486	BF-1T150	0						
2	2140327	BF-P150	1	X			23/11/2015	26/11/2015	Manipulación
			1		X		16/06/2016	27/06/2016	Manipulación
3	2341297	BF-XP160F	1			X	9/09/2016	19/09/2016	Manipulación
4	2600886	CF-H180AL	1	X			2/03/2016	2/03/2016	Reprocesamiento
			1			X	14/04/2016	10/05/2016	Desgaste por funcionamiento
5	2600955	CF-H180AL	1			X	12/11/2015	29/01/2016	Desgaste por funcionamiento
6	1611360	GF-UCT180	1			X	27/07/2016	15/04/2017	Calidad de material
7	1512668	GF-UE160-AL5	0						
8	2601095	GIF-H180	1	X			24/11/2015	2/12/2015	Reprocesamiento
			1		X		8/07/2016	25/09/2016	Manipulación
9	2801467	GIF-H180	0						
			1		X		18/05/2016	8/06/2016	Manipulación
10	2601086	GIF-H180	1		X		14/07/2016	12/08/2016	Manipulación
			1			X	22/09/2016	14/10/2016	Desgaste y manipulación
11	2003004	GIF-Q150	1		X		1/10/2015	9/11/2015	Desgaste y reprocesamiento
			1			X	18/01/2016	29/02/2016	Manipulación
12	2903938	PCF-H180AL	1		X		13/06/2016	23/08/2016	Manipulación
13	2900654	TFJ-145	1		X		13/05/2016	14/06/2016	Desgaste por funcionamiento
			1		X		8/01/2016	16/02/2016	Desgaste y reprocesamiento
14	2902843	TFJ-160VF	1		X		4/05/2016	15/06/2016	Manipulación

Fuente: Autores

Tabla 3: Recolección información - Fundación Cardioinfantil

#	Serie	Referencia	# Correctivos	TIPO DE REPARACIÓN			Fecha de ingreso	Fecha de salida	Causa
				Menor	Intermedia	Mayor			
1	2702260	CF-H180AL	1		X		15/07/2016	8/09/2016	Manipulación y desgaste por funcionamiento
2	2104471	CF-H180AL	1			X	29/04/2016	11/08/2016	Manipulación y desgaste por funcionamiento
3	2417500	CF-HQ190L	0						
4	2511050	GIF-160	1		X		14/09/2016	14/10/2016	Manipulación y desgaste por funcionamiento
			1		X		30/11/2015	31/03/2016	Manipulación
5	2809163	GIF-H180	1			X	13/09/2016	18/10/2016	Manipulación y desgaste por funcionamiento
6	2602500	GIF-H180	0						
7	2002500	GIF-H180	0						
8	2001967	GIF-H180J	1			X	8/03/2016	18/07/2016	Manipulación y reprocesamiento
9	2416884	GIF-HQ190	0						
10	2304415	GIF-Q145	1		X		26/01/2016	19/04/2016	Manipulación
11	2811428	GIF-Q180	0						
12	2521235	JF-130	0						
13	2007552	PCF-H180AL	1			X	4/04/2016	27/05/2016	Manipulación y desgaste por funcionamiento
			1			X	17/02/2016	1/04/2016	Desgaste natural y reprocesamiento
14	2801134	PCF-Q180AL	1			X	29/04/2016	1/08/2016	Manipulación y desgaste por funcionamiento

Fuente: Autores

Tabla 4: Recolección información - Hospital Universitario San Ignacio

#	Serie	Referencia	# Correctivos	TIPO DE REPARACIÓN			Fecha de ingreso	Fecha de salida	Causa
				Menor	Intermedia	Mayor			
1	2403236	BF-PE2	0						
2	2403841	BF-TE2	0						
3	2601452	CF-H180AL	1	X			2/10/2015	17/12/2016	Desgaste natural
4	1011247	GF-UCT140-AL5	1	X			11/12/2015	23/12/2015	Manipulación
			1		X		20/01/2016	10/02/2016	Manipulación
			1	X			4/04/2016	5/04/2016	Desgaste natural
			1			X	18/04/2016	7/07/2016	Manipulación
			0						
5	1011472	GF-UE160-AL5	0						
			1		X		28/03/2016	11/04/2016	Manipulación
6	2601303	GIF-H180	1	X			17/08/2016	4/10/2016	Desgaste natural
7	2001253	GIF-Q180	0						
8	2011668	SIF-Q180	1	X			13/06/2016	28/06/2016	
9	2005320	PCF-H180AL	1		X		15/04/2016	28/04/2016	Manipulación y desgaste natural
10	2601227	TJF-160VF	1	X			24/11/2015	22/12/2015	Desgaste natural
			1		X		2/05/2016	2/06/2016	Desgaste natural

Fuente: Autores

Tabla 5: Recolección información - Suramericana S.A.

#	Serie	Referencia	# Correctivos	TIPO DE REPARACIÓN			Fecha de ingreso	Fecha de salida	Causa
				Menor	Intermedia	Mayor			
1	2317349	GIF-Q145	0						
2	2100877	GIF-Q145	1		X		4/05/2016	6/05/2016	Manipulación
3	2602428	GIF 180	1	X			14/01/2016	15/01/2016	Desgaste natural
4	2417813	GIF - H180	1	X			9/12/2015	16/12/2015	Manipulación
			1		X		1/09/2016	23/09/2016	Manipulación
5	2002318	GIF-Q150	1		X		9/08/2016	2/09/2016	Manipulación
6	2002274	GIF-Q150	1		X		4/02/2016	1/03/2016	Manipulación
			1	X			17/06/2016	8/09/2016	Desgaste natural
7	2002282	GIF-Q150	1			X	5/05/2016	31/10/2016	Desgaste natural
8	2417813	GIF-H180	1	X			9/12/2015	16/12/2015	Manipulación
9	2417826	GIF-H180	1	X			25/11/2015	29/01/2016	Manipulación
			1			X	18/03/2016	19/07/2016	Desgaste natural
10	2807344	CF-H180AL	1		X		6/01/2016	9/02/2016	Manipulación
			1	X			28/07/2016	29/07/2016	Desgaste natural
11	2702791	GIF 180	1	X			29/03/2016	11/04/2016	Manipulación
12	2106451	GIF-H180	0						
13	2703659	CF-H180AL	1	X			28/01/2016	4/02/2016	Manipulación

Fuente: Autores

7.2. Análisis de la información

Una vez obtenidos los datos del inventario para cada institución se realiza el análisis de criticidad para cada uno de los equipos en donde se tiene en cuenta dos variables para la organización de los datos por jerarquización, en este caso se tuvo en cuenta: la frecuencia de fallas versus el impacto en caso de parada.

Los datos para la frecuencia de fallas salen del sistema SAP del módulo de mantenimiento y fueron tenidas en cuenta las fallas evidenciadas desde Octubre de 2015 a Octubre de 2016. Con respecto al impacto en caso de parada, se analizaron la cantidad de equipos con las mismas características que pueden ejecutar las mismas funciones en caso que se presenten fallos dentro del servicio; se dio una prioridad de 1 a 5 según sea el inventario para cada cliente y los valores se multiplican dentro de la matriz.

Para la ubicación de cada uno de los equipos dentro de la matriz y la parametrización de estos se colocaron límites que varían según el resultado de disponibilidad que aplica para cada uno de los clientes, esto es debido a que se evidencian equipos con mayor número de fallas dentro del periodo evaluado y puede generar cambios en caso de utilizar los mismos criterios para diferentes instituciones.

Para facilidad en el manejo de los datos se realizó asignación numérica ascendente en cada uno de los clientes para la agilizar el tratamiento de los datos y la ubicación de cada uno de estos dentro de las matrices. Posterior a la asignación y resultados obtenidos, se estableció un código de colores por medio de los cuales se facilita la identificación de criticidad de los equipos siendo verde equipos no críticos, amarillo equipos medianamente críticos y rojo equipos críticos.

Una vez organizados los equipos por criticidad en los servicios de cada uno de los clientes se procede a evaluar las horas de trabajo efectivo durante el año para los equipos que se encuentran en criticidad amarilla y roja, esto para poder hallar los MTTR (Tiempo medio de reparación) y MTBF (Tiempo medio entre fallas), los cuales son los datos que se toman como base para realizar la formulación de la ecuación de disponibilidad.

Obteniendo los datos anteriormente mencionados se organizan dentro de la ecuación de disponibilidad y se verifican los porcentajes obtenidos según el nivel de criticidad asignado, esto para evitar que alguno de los equipos quede ubicado en una posición de criticidad no adecuada y que se realicen acciones innecesarias a los equipos. Una vez obtenido el porcentaje de disponibilidad, se procede a hallar la confiabilidad.

El MTBF anteriormente se desarrolla en horas y para este caso, se realiza el cálculo en los días de operación de los endoscopios, para así mismo poder hallar la tasa que existe entre las fallas y aplicar la fórmula de confiabilidad en los equipos; se analizan las causas por las cuales se están presentando las fallas y se decide qué acciones tomar por cliente aumentar el desempeño de los equipos en el servicio.

En el análisis realizado a pesar que se estableció la criticidad para los equipos, se encontraron algunos que por el largo tiempo de parada y reparación, la disponibilidad en los equipos en el servicio es baja y es uno de los factores que se puede brindar solución desde la empresa Lm Instruments S.A. En el análisis de criticidad, disponibilidad y confiabilidad de cada uno de los clientes se explicará cada uno de los casos anteriormente mencionados.

Fundación Santafé de Bogotá

La siguiente tabla expresa las frecuencias de las fallas versus el impacto en caso de parada, se multiplican estos valores y como resultado se obtienen datos entre 0 y 15; los equipos se ubicaron en cada uno de estos y como datos se obtuvo la criticidad en el servicio de gastroenterología para la institución.

El análisis de criticidad también permite identificar de una manera más ágil los equipos a los cuales se ha invertido mayor mano de obra para la solución de las fallas y los que requieren de acciones a implementar para evitarlas.

Tabla 6: Análisis de criticidad - Fundación Santafé de Bogotá

Frecuencia de fallas	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
	0	0	0	0	0	0
	1	2	3	4	5	
Impacto en caso de parada						

1 - 4	B
5 - 11	M
12 -15	A

Frecuencia de fallas	3			10		
	2			2 , 8 , 11	4 , 14	
	1		3	5 , 9	12 , 13	6
	0		7	1		
	1	2	3	4	5	
Impacto en caso de parada						

Fuente: Autores

Los equipos ubicados en el análisis de criticidad verdes y amarillos se identifican dentro de la tabla de criticidad donde se seleccionan los equipos a los cuales se va a aplicar la fórmula de la confiabilidad (amarillos) y la comprobación de los datos se puede realizar comparando equipos con más fallas versus los equipos medianamente críticos, lo que indica que el análisis de criticidad se aplicó de manera correcta y la disponibilidad servirá como herramienta de corroboración de la información obtenida en estas tablas.

Tabla 7: Tabla de criticidad - Fundación Santafé de Bogotá

#	Serie	Referencia	# Correctivos	TIPO DE REPARACIÓN			Causa	Criticidad
				Menor	Intermedia	Mayor		
1	2140486	BF-1T150	0					
2	2140327	BF-P150	1	X			Manipulación	
			1		X		Manipulación	
3	2341297	BF-XP160F	1			X	Manipulación	
4	2600886	CF-H180AL	1	X			Reprocesamiento	
			1			X	Desgaste por funcionamiento	
5	2600955	CF-H180AL	1			X	Desgaste por funcionamiento	
6	1611360	GF-UCT180	1			X	Calidad de material	
7	1512668	GF-UE160-AL5	0					
8	2601095	GIF-H180	1	X			Reprocesamiento	
			1		X		Manipulación	
9	2801467	GIF-H180	0					
10	2601086	GIF-H180	1		X		Manipulación	
			1		X		Manipulación	
			1			X	Desgaste y manipulación	
11	2003004	GIF-Q150	1		X		Desgaste y reprocesamiento	
			1			X	Manipulación	
12	2903938	PCF-H180AL	1		X		Manipulación	
13	2900654	TFJ-145	1		X		Desgaste por funcionamiento	
14	2902843	TFJ-160VF	1		X		Desgaste y reprocesamiento	
			1		X		Manipulación	

Fuente: Autores

En la anterior tabla se encuentra información de los 14 endoscopios con los que cuenta la Fundación Santafé de Bogotá, donde 7 equipos están catalogados dentro de una criticidad media, encontrando que 9 de las 14 fallas que se presentaron se atribuyen a la manipulación de los endoscopios, esto quiere decir que más del 50% de las fallas que se presentaron en el último año

en el servicio de gastroenterología, se dan debido a la manipulación de los endoscopios, 4 de estas son generadas por desgaste y 1 por calidad de material en diseño del equipo.

Posteriormente se analizará por los porcentajes de disponibilidad y confiabilidad estos equipos para verificar el comportamiento dentro del servicio.

Fundación Cardioinfantil

Teniendo como base los datos analizados en la anterior institución, se realizó la aplicación de la misma estructura para el análisis de criticidad en donde se encuentra que la Fundación Cardioinfantil cuenta con la misma cantidad de equipos en el servicio de gastroenterología, pero la parametrización cambia, puesto que la cantidad de fallas que ocurrieron en el último año es diferente, el número de fallas es menor por consiguiente el análisis de criticidad para esta institución queda de la siguiente manera:

Tabla 8: Análisis de criticidad - Fundación Cardioinfantil

Frecuencia de fallas	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
	0	0	0	0	0	0
	1	2	3	4	5	
Impacto en caso de parada						

1-3	B
4 - 6	M
8 -10	A

Frecuencia de fallas	2			5	14	
	1		4 , 10	1 , 2 , 8	13	
	0		12	3 , 6 , 7 , 9 , 11		
	1	2	3	4	5	
Impacto en caso de parada						

Fuente: Autores

A diferencia de la anterior institución, en ésta se encuentra que la mayoría de los equipos están ubicados dentro de un impacto de parada 3 con un bajo nivel de frecuencia de fallas, se evidencian 2 equipos en una criticidad media y 1 equipo con alta criticidad, los cuales a través de la disponibilidad y confiabilidad, se verificará si la organización jerárquica por medio de la criticidad fue efectiva y se tomarán las respectivas acciones para la disminución de estos riesgos.

Tabla 9: Tabla de criticidad - Fundación Cardioinfantil

#	Serie	Referencia	# Correctivos	TIPO DE REPARACIÓN			Causa	Criticidad
				Menor	Intermedia	Mayor		
1	2702260	CF-H180AL	1		X		Manipulación y desgaste por funcionamiento	
2	2104471	CF-H180AL	1			X	Manipulación y desgaste por funcionamiento	
3	2417500	CF-HQ190L	0					
4	2511050	GIF-160	1		X		Manipulación y desgaste por funcionamiento	
5	2809163	GIF-H180	1		X		Manipulación	
			1			X	Manipulación y desgaste por funcionamiento	
6	2602500	GIF-H180	0					
7	2002500	GIF-H180	0					
8	2001967	GIF-H180J	1			X	Manipulación y reprocesamiento	
9	2416884	GIF-HQ190	0					
10	2304415	GIF-Q145	1		X		Manipulación	
11	2811428	GIF-Q180	0					
12	2521235	JF-130	0					
13	2007552	PCF-H180AL	1			X	Manipulación y desgaste por funcionamiento	
14	2801134	PCF-Q180AL	1			X	Desgaste natural y reprocesamiento	
			1			X	Manipulación y desgaste por funcionamiento	

Fuente: Autores

En la tabla de criticidad para la Fundación Cardioinfantil, se encuentran 14 equipos de los cuales 2 tienen una criticidad media y 1 una criticidad alta; este último, a pesar que en el año presentó 2 paradas al igual que el No 5, sus características de funcionamiento dentro del servicio no son las mismas y no se pueden suplir con otro equipo. El mismo comportamiento se pudiera evidenciar para el equipo No. 13, donde las características de funcionamiento son únicas y no se pueden reemplazar, es por esto, que estos equipos se analizan como los más importantes dentro del servicio y deben ser aplicadas unas estrategias para disminuir las fallas.

Hospital Universitario San Ignacio

El mismo modelo para la criticidad se tiene en cuenta para el Hospital Universitario San Ignacio. Al igual que en las anteriores instituciones, no se puede manejar los mismos parámetros, puesto que la capacidad instalada en el servicio es diferente y las características de funcionamiento de los equipos cambia. Al tener menor cantidad de equipos con diferentes características, hace que dentro del servicio la importancia de los equipos sea más alta y el impacto en caso de parada también lo sea porque se puede reducir la capacidad de atención de los pacientes, disminuyendo así mismo la productividad dentro del servicio. Es por esto, que comparándolo con las anteriores instituciones evaluadas se encuentra el comportamiento de la siguiente manera:

Tabla 10: Análisis de criticidad - Hospital Universitario San Ignacio

Frecuencia de fallas	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
	0	0	0	0	0	0
		1	2	3	4	5
Impacto en caso de parada						
		1 - 4	B			
		5 - 11	M			
		12 - 20	A			
Frecuencia de fallas	4					4
	3					
	2			6		10
	1				3, 8, 9	
	0		1, 2	7		5
		1	2	3	4	5
Impacto en caso de parada						

Fuente: Autores

Dentro de las tablas de análisis de criticidad se puede encontrar que la mayoría de los equipos se catalogan de alto impacto en caso de parada para el servicio; los que se definieron dentro de un impacto 4 solo han tenido una falla durante el periodo evaluado, ubicándolos como no críticos, a diferencia de los equipos No. 4 y No. 10, cuyo comportamiento de las fallas ha sido bastante alto y de gran impacto para el servicio.

Tabla 11: Tabla de criticidad - Hospital Universitario San Ignacio

#	Serie	Referencia	# Correctivos	TIPO DE REPARACIÓN			Causa	Criticidad
				Menor	Intermedia	Mayor		
1	2403236	BF-PE2	0					
2	2403841	BF-TE2	0					
3	2601452	CF-H180AL	1	X			Desgaste natural	
4	1011247	GF-UCT140-AL5	1	X			Manipulación	
			1		X		Manipulación	
			1	X			Desgaste natural	
			1			X	Manipulación	
5	1011472	GF-UE160-AL5	0					
6	2601303	GIF-H180	1		X		Manipulación	
			1	X			Desgaste natural	
7	2001253	GIF-Q180	0					
8	2011668	SIF-Q180	1	X				
9	2005320	PCF-H180AL	1		X		Manipulación y desgaste natural	
10	2601227	TJF-160VF	1	X			Desgaste natural	
			1		X		Desgaste natural	

Fuente: Autores

De los 10 equipos con los que cuenta la institución, 3 son catalogados como los más críticos, en donde 4 de las 8 fallas que ocurrieron dentro del servicio se atribuyen a la manipulación de los endoscopios, lo que representa el 50% de las fallas ocurridas. El equipo No. 4 es al que más daños por manipulación se atribuyen y al ser una referencia de equipo especial, se debe tomar acciones diferentes, puesto que por las características de funcionamiento y manejo de este equipo, se requiere una manipulación especial y conocimientos avanzados en cuanto a la tecnología.

Suramericana S.A.

El análisis de criticidad para este cliente se realizó a partir de la solicitud del departamento de ingeniería de Lm Instruments S.A., en donde se llevó a cabo el mismo análisis y base para el manejo de los datos. La ubicación de los equipos en el análisis de criticidad dentro del impacto de parada puede verse afectada, puesto que se tienen unos equipos para la sede de Medellín y otros en la sede de Bogotá; cada una de las ciudades cuenta con un área de servicio técnico y la solución de las fallas se da en un tiempo diferente a los anteriores. La criticidad se maneja por equipos, pero no se divide por ciudades puesto que la institución es una sola y se desea conocer la disponibilidad y confiabilidad de los endoscopios con el mismo proveedor de los servicios.

Tabla 12: Análisis de criticidad - Suramericana S.A.

Frecuencia de fallas	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
	0	0	0	0	0	0
	1	2	3	4	5	
Impacto en caso de parada						

1 - 4	B
5 - 11	M
12 -15	A

Frecuencia de fallas	2		4	6 , 9	10	
	1		2 , 3	5 , 7 , 8	13 , 11	
	0		1		12	
	1	2	3	4	5	
Impacto en caso de parada						

Fuente: Autores

En el análisis de criticidad se encuentran repartidos los equipos según el impacto de parada para ambas ciudades, en Medellín cuentan con la mayor cantidad de los equipos con las mismas características las cuales hacen que se encuentren ubicados dentro de la criticidad más baja; sin embargo, en Bogotá solo uno de los equipos está catalogado entre los medianamente críticos, por la cantidad de fallas que se evidenciaron durante el último periodo analizado.

A pesar de tener una cantidad considerable de equipos en el servicio, el comportamiento de las fallas de estos no aumenta la probabilidad para colocar a los equipos como críticos y tener que implementar acciones sobre los mismos

Tabla 13: Tabla de criticidad - Suramericana S.A.

#	Serie	Referencia	# Correctivos	TIPO DE REPARACIÓN			Causa	Criticidad
				Menor	Intermedia	Mayor		
1	2317349	GIF-Q145	0					
2	2100877	GIF-Q145	1		X		Manipulación	
3	2602428	GIF 180	1	X			Desgaste natural	
4	2417813	GIF - H180	1	X			Manipulación	
			1		X		Manipulación	
5	2002318	GIF-Q150	1		X		Manipulación	
6	2002274	GIF-Q150	1		X		Manipulación	
			1	X			Desgaste natural	
7	2002282	GIF-Q150	1			X	Desgaste natural	
8	2417813	GIF-H180	1	X			Manipulación	
9	2417826	GIF-H180	1	X			Manipulación	
			1			X	Desgaste natural	
10	2807344	CF-H180AL	1		X		Manipulación	
			1	X			Desgaste natural	
11	2702791	GIF 180	1	X			Manipulación	
12	2106451	GIF-H180	0					
13	2703659	CF-H180AL	1	X			Manipulación	

Fuente: Autores

Suramericana S.A. cuenta con 13 equipos de los cuales 3 se evidencian como medianamente críticos, esto se da por la cantidad de fallas que se presentaron en el último año evaluado, siendo la manipulación el 50% de las causas presentadas en las fallas de los equipos,

puesto que por características funcionales en caso de parada, se puede suplir con otro equipo de las mismas características y no resultaría impactado el servicio y la no atención de los pacientes.

Como segunda etapa del análisis de la información, para la aplicación de la disponibilidad en cada una de las instituciones se toman como base los datos obtenidos por la criticidad, se analizan las horas en los MTBF y MTTR, para así mismo, poder aplicar los datos sobre la ecuación de disponibilidad.

Se tuvieron en cuenta 1920 horas laborales durante el último año que fueron en las que el servicio estuvo activo para las instituciones y se sacó el porcentaje de disponibilidad que ofrece cada uno de los endoscopios al área, siendo los más críticos para cada una de las instituciones analizadas.

Fundación Santafé de Bogotá

Tabla 14: Análisis de disponibilidad - Fundación Santafé de Bogotá

#	Serie	Referencia	Fecha de ingreso	Fecha de salida	Tiempo de parada en horas laborales	Criticidad	MTBF	MTTR	Disponibilidad (%)
2	2140327	BF-P150	23/11/2015	26/11/2015	24		96000	4400	95,6
			16/06/2016	27/06/2016	64				
4	2600886	CF-H180AL	2/03/2016	2/03/2016	4		96000	7800	92,5
			14/04/2016	10/05/2016	152				
6	1611360	GF-UCT180	27/07/2016	15/04/2017	1440		192000	144000	57,1
8	2601095	GIF-H180	24/11/2015	2/12/2015	56		96000	25200	79,2
			8/07/2016	25/09/2016	448				
10	2601086	GIF-H180	18/05/2016	8/06/2016	128		64000	14666,7	81,4
			14/07/2016	12/08/2016	176				
			22/09/2016	14/10/2016	136				
11	2003004	GIF-Q150	1/10/2015	9/11/2015	224		96000	23600	80,3
			18/01/2016	29/02/2016	248				
14	2902843	TFJ-160VF	8/01/2016	16/02/2016	224		96000	23600	80,3
			4/05/2016	15/06/2016	248				

Fuente: Autores

Dentro de los equipos analizados en esta institución, el No. 6 se encuentra con una disponibilidad del 57,1% lo que indica que es un equipo de alto impacto para el servicio y es uno de los primeros que se debería abordar para realizar el análisis de los datos; pero como recordamos en las causas de las fallas de la tabla de criticidad, este equipo presenta una falla en la calidad del material, tema por el cual debe ser abordado por el fabricante del equipo, brindando una solución de un equipo en préstamo para evitar la detención del servicio y la no realización de los procedimientos.

Otros de los casos especiales que se pueden evidenciar dentro de esta institución, son los No. 2 y No. 4, donde a pesar de estar catalogados como equipos medianamente críticos tienen una disponibilidad del 95,6% y 92,5% respectivamente, esto se debe a que los tiempos de parada fueron cortos y el impacto generado en el servicio no afectó la disponibilidad del endoscopio, sin embargo, se debe plantear una solución para la prevención de las fallas.

Los endoscopios No. 8, No. 10, No. 11 y No. 14 se encuentran en un promedio de disponibilidad para el servicio de 79% a 81%, lo cual indica que el análisis de criticidad fue efectivo y se requiere tomar acciones para evitar las fallas y así aumentar la disponibilidad y horas en servicio de los equipos.

Fundación Cardioinfantil

Tabla 15: Análisis de disponibilidad - Fundación Cardioinfantil

#	Serie	Referencia	Fecha de ingreso	Fecha de salida	Tiempo de parada en horas laborales	Criticidad	MTBF	MTTR	Disponibilidad (%)
1	2702260	CF-H180AL	15/07/2016	8/09/2016	360		192000	36000	84,2
2	2104471	CF-H180AL	29/04/2016	11/08/2016	640		192000	64000	75,0
4	2511050	GIF-160	14/09/2016	14/10/2016	184		192000	18400	91,3
5	2809163	GIF-H180	30/11/2015	31/03/2016	712		96000	43200	69,0
			13/09/2016	18/10/2016	152				
8	2001967	GIF-H180J	8/03/2016	18/07/2016	760		192000	76000	71,6
10	2304415	GIF-Q145	26/01/2016	19/04/2016	488		192000	48800	79,7
13	2007552	PCF-H180AL	4/04/2016	27/05/2016	320		192000	32000	85,7
14	2801134	PCF-Q180AL	17/02/2016	1/04/2016	264		96000	42400	69,4
			29/04/2016	1/08/2016	584				

Fuente: Autores

El comportamiento de los equipos a partir de esta institución tiene un análisis más detallado en disponibilidad para cada uno de los activos, porque se realiza inclusión de algunos equipos que se consideraron como no críticos, pero al verificar las horas de los tiempos de parada de los endoscopios, se encuentra que se generan largos tiempos de reparación y nueva puesta en marcha de los equipos.

Para analizar, los equipos No.1, No. 2, No. 8 y No. 10 se catalogan como baja criticidad (verdes), pero al verificar los tiempos en horas de las paradas del equipo, se evidencian largas paradas disminuyendo la disponibilidad entre el 71% y 84%, cambiando la percepción de los resultados emitidos en el anterior análisis, puesto que se deben tener en cuenta las causas de las fallas extendidas y proponer soluciones para evitar este tipo de inconvenientes.

Los equipos No. 5 y No. 13 tienen un comportamiento de porcentaje de disponibilidad muy parecido al mencionado anteriormente, siendo 69 % y 85,7 % respectivamente, con la diferencia que estos equipos son de alto impacto en caso de parada para el servicio y las

variables de generación de las fallas son las causantes de la disminución de la disponibilidad en los endoscopios.

Hospital Universitario San Ignacio

Tabla 16: Análisis de disponibilidad - Hospital Universitario San Ignacio

#	Serie	Referencia	Fecha de ingreso	Fecha de salida	Tiempo de parada en horas laborales	Criticidad	MTBF	MTTR	Disponibilidad (%)
2	2100877	GIF-Q145	4/05/2016	6/05/2016	8		192000	800	99,6
3	2602428	GIF 180	14/01/2016	15/01/2016	8		192000	800	99,6
4	2417813	GIF - H180	9/12/2015	16/12/2015	48		96000	9200	91,3
			1/09/2016	23/09/2016	136				
5	2002318	GIF-Q150	9/08/2016	2/09/2016	152		192000	15200	92,7
6	2002274	GIF-Q150	4/02/2016	1/03/2016	152		96000	31600	75,2
			17/06/2016	8/09/2016	480				
7	2002282	GIF-Q150	5/05/2016	31/10/2016	1024		192000	102400	65,2
8	2417813	GIF-H180	9/12/2015	16/12/2015	48		192000	4800	97,6
9	2417826	GIF-H180	25/11/2015	29/01/2016	384		96000	54000	64,0
			18/03/2016	19/07/2016	696				
10	2807344	CF-H180AL	6/01/2016	9/02/2016	224		96000	11600	89,2
			28/07/2016	29/07/2016	8				
11	2702791	GIF 180	29/03/2016	11/04/2016	88		192000	8800	95,6
13	2703659	CF-H180AL	28/01/2016	4/02/2016	48		192000	4800	97,6

Fuente: Autores

Al igual que el caso anterior, para esta institución se realizó la inclusión de 3 equipos que se encontraban con criticidad baja con dos propósitos:

- El primero para demostrar que el análisis de criticidad realizado fue efectivo puesto que los equipos No. 8 y No. 9 se encuentran en criticidad baja con una alta disponibilidad.
- El segundo propósito es que en esta institución se encuentra el mismo inconveniente con el equipo No.3, ya que en el análisis de criticidad se encuentra catalogado como verde, pero al aplicar la disponibilidad es baja; por esta razón, se deben analizar las causas

del comportamiento y ofrecer una solución para evitar los largos tiempos de paradas de los equipos.

Los equipos No. 6 y No.10 son catalogados como equipos medianamente críticos y los porcentajes emitidos son 82,5 % y 84,2 % respectivamente; a estos se debe realizar la implementación de actividades para evitar las paradas.

Suramericana S.A.

Tabla 17: Análisis de disponibilidad - Suramericana S.A.

#	Serie	Referencia	Fecha de ingreso	Fecha de salida	Tiempo de parada en horas laborales	Criticidad	MTBF	MTTR	Disponibilidad (%)
2	2100877	GIF-Q145	4/05/2016	6/05/2016	8		192000	800	99,6
3	2602428	GIF 180	14/01/2016	15/01/2016	8		192000	800	99,6
4	2417813	GIF - H180	9/12/2015	16/12/2015	48		96000	9200	91,3
			1/09/2016	23/09/2016	136				
5	2002318	GIF-Q150	9/08/2016	2/09/2016	152		192000	15200	92,7
6	2002274	GIF-Q150	4/02/2016	1/03/2016	152		96000	31600	75,2
			17/06/2016	8/09/2016	480				
7	2002282	GIF-Q150	5/05/2016	31/10/2016	1024		192000	102400	65,2
8	2417813	GIF-H180	9/12/2015	16/12/2015	48		192000	4800	97,6
9	2417826	GIF-H180	25/11/2015	29/01/2016	384		96000	54000	64,0
			18/03/2016	19/07/2016	696				
10	2807344	CF-H180AL	6/01/2016	9/02/2016	224		96000	11600	89,2
			28/07/2016	29/07/2016	8				
11	2702791	GIF 180	29/03/2016	11/04/2016	88		192000	8800	95,6
13	2703659	CF-H180AL	28/01/2016	4/02/2016	48		192000	4800	97,6

Fuente: Autores

Esta institución dentro del estudio es tomada en cuenta de manera especial, puesto que el análisis realizado es aplicado para los equipos en los cuales se ha presentado como mínimo una falla; en este se puede evidenciar los porcentajes altos de disponibilidad para los equipos catalogados como verdes (de baja criticidad) y el No.7 presentando el comportamiento de los equipos anteriormente descritos como no críticos pero con una disponibilidad demasiado baja.

En el siguiente tema se realizará el análisis para proponer una posible solución de estos casos descritos.

Adicionalmente, como se esperaba desde el análisis de la criticidad, se encontraron los equipos No. 6 No. 9 y No. 10 los cuales presentan una disponibilidad baja y criticidad alta en los que se deben realizar acciones para evitar las fallas.

Teniendo en cuenta los análisis anteriormente mencionados y detallados, se continuará con el análisis de confiabilidad para los endoscopios, el cual, no se realiza para cada uno de los activos de las instituciones, si no se tienen en cuenta dos parámetros: el número de fallas encontrado en los endoscopios y el tiempo que se encuentran disponibles en el servicio. La misma tabla aplica para todos los equipos puesto que el análisis realizado es en el mismo tiempo en que todos los equipos estuvieron en el servicio, cambiando la cantidad de fallas entre ellos sin importar las características de funcionamiento.

Tabla 18: Análisis de confiabilidad - General

# FALLAS	TASA DE FALLAS	CONFIABILIDAD
0	0%	100%
1	0,0125%	97,3%
2	0,0250%	94,7%
3	0,0375%	92,2%
4	0,0500%	89,7%

Fuente: Autores

Para hallar la confiabilidad para cada una de las fallas, se debe tener el MTBF en días, donde por medio de esta se halla lambda (tasa de las fallas), la cual se multiplica por el periodo

evaluado; se tiene la constante neperiana la cual eleva los valores anteriores y emite el porcentaje de confiabilidad de los endoscopios.

Dentro de la tabla, se puede evidenciar que los equipos a pesar de presentar 4 fallas durante el año, su confiabilidad es bastante alta, moviéndose dentro del rango del 89% al 100%. Se puede decir que al aplicar solo la fórmula de confiabilidad dentro del grupo de los endoscopios, se obtendrían datos los cuales no arrojarían los equipos a los que se pueden implementar las acciones para así mismo garantizar el uso de los endoscopios dentro del servicio.

Es por esto que al unir las tablas de criticidad, disponibilidad y confiabilidad, se tiene un estudio con datos corroborables, donde se puede analizar por medio de tres puntos de vista diferentes las acciones a tomar con cada uno de los equipos y lograr un punto de estabilidad para cada uno de los servicios de gastroenterología de las instituciones evaluadas.

7.3. Propuesta de solución

En los análisis de cada una de las instituciones se encontró que existen equipos catalogados como baja criticidad, pero al momento de verificar la disponibilidad, aparece un porcentaje bajo con un alto nivel de confiabilidad; en estos casos y después de realizar el análisis de cada uno de estos, se llega a la conclusión que este fenómeno dentro del estudio se da por el tiempo de reparación que hay después de ocurridas las fallas; esto se puede generar por:

- Aprobación de la reparación de los equipos por parte de la institución a la empresa Lm Instruments S.A.
- Disponibilidad de los repuestos después de la aprobación.

La primera causa de generación de disminución de la disponibilidad se puede solucionar con el manejo de la institución como cliente (parte comercial y mercadeo) y demostración de los inconvenientes en términos de productividad que se está generando en el servicio, tanto para el área de ingeniería como responsable del servicio. Las causas por las cuales se presentan los fallos son ajenas a la empresa Lm Instruments S.A. y deben ser manejadas por las instituciones. Sin embargo, posteriormente en la Tabla 19 correspondiente a la propuesta de solución, se especifican las causas por las cuales se generan las fallas de los equipos en los que se realizó el análisis y una posible solución que es una herramienta de apoyo.

Como solución al segundo punto que es la disponibilidad de los repuestos después de la aprobación de las reparaciones, se propone realizar la implementación de un stock controlado por máximos y mínimos en el sistema SAP que se basen en el historial de reparaciones, para así mismo garantizar los tiempos y promesas de reparación adquiridos dentro de los contratos de servicio de la empresa Lm Instruments S.A. con la institución.

En la siguiente matriz se ofrecen diferentes soluciones que pueden mitigar los daños generados por las diferentes causas en los equipos analizados, siendo una herramienta de apoyo para las instituciones objeto de estudio.

Tabla 19: Propuesta de solución

CAUSA DE LA FALLA	DIRIGIDO A			POSIBLE SOLUCIÓN			METODOLOGÍA
	Personal Ingeniería	Asistencial y Apoyo	Médicos	Capacitación	Visita técnica al laboratorio	Mantenimiento predictivo	
Manipulación		X	X	X			Se realiza organización de un curso de formas correctas de la manipulación, traslado y almacenamiento de los endoscopios al área asistencial. Para así mismo implementar un estándar de procedimientos para el área de gastroenterología de manejo de los equipos flexibles, donde por medio de éste se eviten las fallas de los equipos, garantizando las condiciones adecuadas que se establezcan. Para los médicos especialistas realizar una concientización de la tecnología con la cual se está trabajando, manejando los costos y tiempos de reparación, costos de parada y disminución de la productividad generada por las fallas en los equipos
Reprocesamiento		X	X	X	X		Programar un curso de reprocesamiento manual en la institución y una visita con el personal al laboratorio para comparar las técnicas aprendidas frente a una máquina automática de reprocesamiento, donde se expliquen las técnicas adecuadas para lograr una limpieza y desinfección apropiadas en los equipos
Desgaste por funcionamiento o natural	X		X		X	X	Programación de visita técnica a los médicos encargados del servicio e ingenieros de la institución en donde se realice el desensamble completo de los endoscopios y se muestren las partes en las que se generan los desgastes físicos. Adicional a lo anterior realizar un análisis de las partes para poder programar un mantenimiento predictivo y evitar los tiempos largos de parada por estos daños
Calidad del material	X		X				Contacto directo con el fabricante para la realización de análisis de las piezas averiadas y comunicación de los resultados obtenidos

Fuente: Autores

En la matriz se resumen los tipos de fallas por las cuales los equipos se encontraron fuera del servicio, se deben tomar acciones frente a estas y solucionarlas para así evitar la disminución de la producción. De otra manera y aún más importante, se propone el análisis de los procedimientos que están siguiendo las instituciones con el proceso cíclico que es el reprocesamiento, uso del equipo y almacenaje; las condiciones en que se realizan, los pasos y la omisión de alguno de estos puede estar generando las fallas.

Por medio de las capacitaciones al personal asistencial y médico se puede generar la conciencia donde los equipos son una herramienta con la que cuentan para el diagnóstico y terapia, demostrando que las paradas generadas por mal uso se pueden evitar, sacando más provecho a los activos con los que cuentan, aumentando la satisfacción a los pacientes y utilizando la tecnología de manera adecuada.

El personal de ingeniería es el responsable de implementar el plan de mantenimiento para las áreas de los hospitales, por ende tienen el conocimiento de la mantenibilidad que se debe tener con cada uno de los equipos. La implementación de un plan de mantenimiento predictivo no es el aumento de costos en un servicio, al contrario, es una herramienta donde se disminuyen los tiempos de parada y se reducen las fallas de alto costo generadas por la cadena y no verificación de los activos en un tiempo adecuado. Es por esto que se propone como una herramienta de solución e implementación para los desgastes naturales de los equipos.

Cuando se presentan fallas en las calidades de los equipos, los responsables son los fabricantes, quienes deben asumir la continuidad de la prestación del servicio por medio de los representantes en el país. Tener el contacto con el cliente, mostrar los resultados obtenidos de los análisis ejecutados sobre las piezas, es la forma más transparente de realizar un contacto y asumir las fallas que se encuentran por fabricación.

7.4. Resultados esperados

Teniendo en cuenta las propuestas planteadas en el anterior punto, se procede a realizar un análisis desde tres puntos de vista que pueden afectar a los interesados para los cuales se está realizando el desarrollo del proyecto, los cuales tienen un impacto y relación entre ellos. Los puntos de vista que se tuvieron en cuenta fueron: Impacto económico, impacto ambiental e indicadores de gestión.

A continuación en la Tabla 20 se encuentra cada uno de los resultados esperados para cada uno de los impactos con sus correspondientes mediciones.

Tabla 20: Resultados esperados

IMPACTO	BENEFICIO	BENEFICIADO	METRICA	META
Económico	Al generar menos paradas de los equipos, del dinero destinado para mantenimientos correctivos se puede utilizar un porcentaje para la implementación de los mantenimientos predictivos, aumentando la rentabilidad del servicio	INSTITUCIONES ANALIZADAS	Historial costos por mtto correctivo - Costos actuales = Ahorro total por mtto correctivo	Aumento del ahorro por mtto correctivo en un 50% para que por equipo se destinen el 25% a los mantenimientos predictivos
	Teniendo y logrando mayor disponibilidad de los activos en el servicio de gastroenterología mayor numero de pacientes pueden ser programados y atendidos, aumentando la rentabilidad del servicio		Presupuesto anual y rentabilidad mensual establecida para la institución	Aumento del 25% de las ganancias por rentabilidad
	Se incluye dentro del portafolio de servicios una nueva modalidad de mantenimiento, sustentable matemáticamente	LM INSTRUMENTS S.A.	Contratos de mantenimiento predictivo	En seis meses de implementación del sistema lograr obtener la contratación de las instituciones analizadas con la modalidad de mantenimiento predictivo
Ambiental	Menos cantidad de material generado por el cambio de los repuestos y menor contaminación	LM INSTRUMENTS	Cantidad de desechos generados	Disminución de cantidad de repuestos desechados en un 25%
Indicadores de gestión	Mayor numero de pacientes atendidos	INSTITUCIONES ANALIZADAS	Productividad de servicio = Pacientes atendidos / Pacientes	Lograr una productividad > al 95% durante 6 meses continuos
	Aumento de la confiabilidad con la marca y con del departamento de servicio	LM INSTRUMENTS	Calidad de reparación = Cantidad de retorno de equipos al laboratorio	Tener un indicador de 0% para estos clientes durante 6 meses
	Mejor percepción de la imagen de la compañía y del área de ingeniería en las instituciones	LM INSTRUMENTS S.A.	Satisfacción del cliente por medio de encuestas aplicadas a los departamentos de ingeniería de las instituciones y del servicio	Lograr encuestas de satisfacción por encima del 90% en cada una de las instituciones analizadas.

Fuente: Autores

8. FUENTES DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la debida realización del presente trabajo se consultaron diferentes fuentes de información, que apoyan y sustentan la consulta tanto de los conceptos como el desarrollo de la propuesta basada en el estudio de la disponibilidad y confiabilidad. Se utilizaron diferentes fuentes de información las cuales se dividen en primarias y secundarias.

8.1. Fuentes primarias

Como fuente primaria se acudió al sistema SAP de información y control de la empresa Lm Instruments S.A., que sirvió de base para la recolección de los datos históricos de las diferentes instituciones, principalmente en términos de equipos, fechas de ingreso y salida de laboratorio, y cantidad de mantenimientos ejecutados en el periodo evaluado. A partir de esta información recolectada se pudo crear las diferentes matrices a las que posteriormente se realizó el análisis de criticidad, disponibilidad y confiabilidad.

8.2. Fuentes secundarias

Las fuentes de información secundarias se consultaron principalmente para la construcción del estado del arte y del marco teórico del presente trabajo. Estas fuentes apoyan la recopilación de los documentos anteriores que tienen cierto grado de relación con el presente estudio y como soportes en la definición conceptual para los diferentes aspectos que se abordaron para su desarrollo.

9. ANÁLISIS FINANCIERO - RETORNO DE INVERSIÓN

Para poder realizar un análisis financiero de costos de las actividades que se ejecutarán para los equipos del área de gastroenterología, es necesario tener en cuenta los recursos de capacitación en los que se incurren al aplicar la propuesta relacionada anteriormente y adicional se ofrecen recursos propios los cuales no están incluidos dentro de los costos ya que estos ya son propiedad de la compañía. En la Tabla 21 se encuentran los costos en los que incurriría la implementación del proyecto para así mismo lograr el aumento de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos de cada institución.

No se realizó un análisis económico para cada uno de los clientes puesto que la diferencia de cantidad de equipos varía muy poco y se ejecutó por promedio de costos para las cuatro instituciones. En el análisis anterior se evidencian los costos relacionados a capacitaciones para el personal de cada una de las instituciones y visitas realizadas a las instalaciones de Lm Instruments S.A.

El costo de mantenimiento predictivo para todos los activos de la institución se cubre con 2 reparaciones mayores ejecutadas para dos endoscopios, por consiguiente sería una práctica adecuada para reducción de costos en el servicio y aumento de la productividad.

Tabla 21: Análisis de costos

ACTIVIDAD	DESCRIPCION	TIEMPO	RECURSOS POR ADQUIRIR	COSTO TOTAL
Realización de cursos de manipulación, traslado y almacenamiento de endoscopios	Se debe realizar cada uno de los cursos en las diferentes instituciones	2 horas	Especialista de servicio	\$ 30.000
Realización de estándar de procedimientos en el área de gastroenterología	Unificar los criterios para todos los clientes en donde se estandaricen los procesos dentro del área se dan 2 días cada uno de 5 Horas para poder adquirir el mayor numero de información y llegar a un acuerdo en trabajo conjunto	10 horas	Especialista de servicio	\$ 30.000
Taller de costos y reparaciones para los especialistas	Se explican los criterios de reparaciones, costos y técnicas estándar para la rehabilitación de los equipos	2 horas	Director de Ingeniería	\$ 80.000
Curso de reprocesamiento en la institución	Explicación de los químicos a utilizar, cepillado manual, irrigación de canales y tiempos de desinfección según indicaciones	3 horas	Especialista de servicio	\$ 30.000
Curso de reprocesamiento en cuarto de CDS	Visita en laboratorio, comparación de técnicas de lavado manual con reprocesamiento de maquina, exposición técnica de proceso, optimización de tiempos y disminución de riesgos por manipulación	2 horas	Coordinador mantenimiento	\$ 50.000
Visita técnica de reparación de endoscopios	Desensamble completo de los endoscopios en donde se muestre el proceso de reparación y repuestos no aptos para el uso médico	4 horas	Técnico reparador	\$ 30.000
Implementación de mantenimiento predictivo	Análisis de los repuestos a incluir en esta modalidad de mantenimiento	24 horas por equipo	Técnico reparador y repuestos	\$ 21.000.000
			TOTAL	\$ 21.250.000

Fuente: Autores

Para tener en cuenta, el retorno sobre la inversión, para este caso se calculó por medio de valores aproximados a las reparaciones reales, puesto que por políticas de seguridad, no se permite la divulgación de los datos. Entonces teniendo lo anterior, en promedio para las cuatro instituciones se maneja un monto para la reparaciones del último año de \$100.000.000 el cual se va a tener en cuenta que el mantenimiento correctivo no puede ser eliminado y en este caso, se

va a tener en cuenta un porcentaje de correctivos del 20% es decir que la ganancia total de la inversión, se realiza con el supuesto: el costo que se puede reducir con la implementación de la propuesta tiene su base en \$80.000.000.

Tabla 22: Retorno sobre la inversión (ROI)

COSTO PROMEDIO ACTUAL MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS	\$80.000.000
COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	\$21.250.000
GANANCIA CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	\$58.750.000
ROI PROYECTADO EN 1 AÑO	176.47%

Fuente: Autores

Al tener los datos de los costos por el mantenimiento correctivo generados en el año evaluado, se procede a aplicar la fórmula para ROI (retorno sobre la inversión), en donde se encuentra que la implementación de las actividades y sugerencias a las instituciones, genera unas ganancias del 176,47% lo cual equivale a \$58.750.000, e indica el monto que las instituciones estarían ahorrando; esto hace efectiva la herramienta ofrecida en el presente documento, donde los resultados indican que la reducción de fallas generadas por mano de obra y desgaste natural son de alto impacto para la economía de las áreas de gastroenterología.

10. TALENTO HUMANO

Para la implementación del estudio se necesita del personal mencionado en el análisis de costos. En esta sección se va a tener en cuenta los roles que cumple cada uno en el proceso y el perfil profesional con el que debe contar como herramienta de apoyo al desarrollo y cumplimiento del proyecto para lograr los resultados esperados.

Dentro de los roles que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del estudio tenemos:

- **Especialista de servicio:** El rol de esta persona especializada, la cual tiene los conocimientos médicos del área de gastroenterología, conoce el producto, sus características tanto físicas y de funcionalidad, dentro del estudio, es poder capacitar en buenas prácticas de manejo, uso, almacenaje y reprocesamiento. Esta persona al tener el conocimiento desde diferentes puntos de vista, logra captar las necesidades específicas que se generan en las diferentes instituciones y es la que trabaja en conjunto con el personal de servicio, puesto que el apoyo continuo y re capacitación es la base para evitar los daños que se pueden presentar en los equipos por la incorrecta manipulación. Adicionalmente, al tener el contacto directo con los operadores, puede direccionar los procedimientos internos del área de manera que satisfaga las necesidades de las instituciones en pro de los pacientes, para así mismo, poder ofrecer una organización dentro del área con un manejo enfocado hacia los equipos.

- **Director de Ingeniería:** Es la persona que se encarga del departamento, manejo de presupuesto anual, encargado de los indicadores y enfoque del área con el cumplimiento de las metas y objetivos propuestos. Esta persona es la más apropiada para presentar los indicadores en costo hacia los médicos especializados, por el enfoque que tiene en la carrera profesional, puesto

que los conocimientos y manejo administrativo está enfocado en el apoyo a las instituciones para lograr prestar un excelente servicio de mantenimiento a los equipos.

- **Coordinador de Ingeniería:** Es la persona que se encarga del cumplimiento de los procedimientos y los procesos dentro del laboratorio, para así mismo, lograr alta calidad en los servicios prestados como lo son los mantenimientos preventivos y correctivos,; además, se encarga de la organización de las actividades propuestas y es la persona que maneja los tiempos de respuesta hacia las instituciones. Dentro de las capacidades en el estudio realizado, está el manejo técnico de las diferentes tecnologías con las que cuentan las instituciones y puede llegar a un mejor desglose manejando la capacitación desde el punto de vista teórico a lo práctico, en donde se centre en los tiempos productivos para el personal.

- **Técnico reparador:** Este es el rol, el cual se encarga de garantizar las condiciones tanto físicas como de funcionamiento de los endoscopios, es el encargado de emitir los reportes de servicio del estado de los activos de las instituciones; también se encarga de la solución de inconvenientes de funcionamiento que se presentan en los equipos. Es la persona adecuada para presentar la estructura interna de los equipos, partes sensibles al desgaste y la incorrecta manipulación, donde a partir de esto se puede realizar la principal estructura del plan de mantenimiento predictivo que sería implementado para cada una de las instituciones.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1. Conclusiones

La realización de un estudio de disponibilidad y confiabilidad en gerencia de mantenimiento, se puede expresar no solo para equipos industriales, ya que todo equipo eléctrico, neumático, mecánico, hidráulico y combinación de estos, presentan desgastes, lo cual es una de las causas generadoras de las fallas en el transcurso del tiempo en que se encuentran habilitados los equipos. Sin restar importancia a estos, los equipos médicos tienen un alto grado de responsabilidad dentro de las instituciones, puesto que son los que apoyan las actividades médicas para lograr una excelente prestación del servicio.

Siendo así, por medio de esta herramienta, se logra identificar el comportamiento de los equipos dentro de un periodo de tiempo establecido, mostrando a las áreas de ingeniería de las instituciones un enfoque diferente, para tener en cuenta el control de los activos, aumento de disponibilidad y confiabilidad de estos, los cuales logran una mejor productividad de cada uno de los servicios hospitalarios. Por medio del análisis de criticidad realizado, se logra tener el enfoque hacia los equipos que requieren de implementación de actividades las cuales reducen algún tipo de comportamiento asociado a desgaste y/o manipulación.

Adicionalmente en el estudio, al verificar la disponibilidad de los activos dentro de las instituciones, se tienen en cuenta todos los aspectos externos que están afectando el correcto funcionamiento de los activos, en donde en algunas de las instituciones, se pudo evidenciar que este ítem estaba siendo afectado por factores externos como los son las aprobaciones de los mantenimientos correctivos y la disponibilidad de los repuestos.

Se puede decir, que al complementar la disponibilidad con la confiabilidad, se da un punto de vista más objetivo hacia la institución y se evalúan más variables para realizar una toma de decisiones confiable y efectiva para poder brindar la solución de las fallas. En cuanto a las actividades que se recomienda implementar para la reducción de las fallas, se tuvo en cuenta las causas de las mismas y se analizaron los caminos más viables que se pueden enfocar para evitar paradas innecesarias en los equipos, que disminuyen la capacidad de atención y productividad en el servicio de gastroenterología de las instituciones.

11.2. Recomendaciones

En las fórmulas se requiere tener la base de los datos reales de los equipos, es por esto, que a partir de la inclusión de nuevas instituciones a analizar, se debe tener un registro de todos los eventos que se presentaron en el periodo a evaluar junto con la falla presentada. Adicional a esto, se debe tener en cuenta que no solo se puede realizar tomas de decisiones y acciones a los equipos con un solo criterio, sino al contrario entre más se tengan en cuenta y se evalúen, mayor veracidad y efectividad se va a lograr con los activos. La concientización en la implementación, ejecución de actividades y trabajo en equipo, es la base que fundamenta los resultados positivos del estudio logrando la reducción de costos por mantenimiento correctivo.

Esta herramienta puede ser implementada como modelo para la inclusión y sustentación de los mantenimientos predictivos, en donde se demuestra, a partir de los datos reales, la veracidad y efectividad lograda después de un tiempo de trabajo en conjunto con la parte asistencial y el departamento de ingeniería.

12. REFERENCIAS

Aguilar, J., Torres, R., & Magaña, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*, 25(1), 15-26. Recuperado el 24 de Septiembre de 2016, de http://web.imiq.org/attachments/345_15-26.pdf

Aguilar, L. (2014). *Estudio de confiabilidad en equipos de bombeo, mediante análisis de fallas en los bloques 14 y 17*. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2265>

Alarcón, O. (24 de Enero de 2016). *¿Para qué sirve la endoscopia ?* Recuperado el 24 de Septiembre de 2016, de <https://consultadigestivo.com/2016/01/24/para-que-sirve-la-endoscopia/>

Alonso, G., Cano, J., Fernández, M., García, M., & Solares, J. (1998). Principios básicos del mantenimiento industrial . En *Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas* (págs. 9-10). Marcombo S.A.

Arzuaga, J., & Gutiérrez, L. (2004). *Análisis de confiabilidad para los equipos de bombeo de aguas residuales*. (Tesis de grado) Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7697/2/113602.pdf>

Barrios, H. (2006). *Análisis de confiabilidad del mejorador de Petrozuata utilizando el programa Meridium*. (Tesis de grado) Universidad Simón Bolívar, Venezuela. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://159.90.80.55/tesis/000140845.pdf>

Burgos, O., & Lobelo, Á. (2009). Estudio de confiabilidad de los equipos críticos de la línea de producción planta 1 de Propilco S.A. y la línea de producción compuestos 3 de Ajover S.A. (Tesis de grado) Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado el 24 de Septiembre de 2016, de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7878/2/129520.pdf>

Federación Médica del Interior Uruguay (FEMI). (2008). *Manual de prevención de infecciones en procedimientos endoscópicos*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2016, de <http://www.cocemi.com.uy/docs/endo2008.pdf>

Hernández, J., & Molano, O. (2012). *Propuesta de utilización de RCM para aumentar la confiabilidad/disponibilidad en buses articulados del Sistema Transmilenio*. (Tesis de grado) Escuela Colombiana de Carreras Industriales, Bogotá, Colombia. Recuperado el 23 de Octubre de 2016

López, A., & Pedraza, J. (2011). *Análisis de confiabilidad a las bombas principales de inyección de agua para la extracción de crudo por medio de la distribución de Weibull en Campo San Francisco de Hocol S.A.* (Tesis de grado) Escuela Colombiana de Carreras Industriales, Bogotá, Colombia. Recuperado el 23 de Octubre de 2016

Mesa, D., Ortiz, Y., & Pinzón, M. (Mayo de 2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia Et Technica*, 1(30), 155-160. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6513/3787>

Ministerio de Salud y Protección Social. (28 de Mayo de 2014). *Resolución número 00002003 de 2014*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2016, de

https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%202003%20de%202014.pdf

Organización Mundial de la Salud. (Mayo de 2012). *¿Cuál es la enfermedad que causa más muertes en el mundo?* Recuperado el 8 de Octubre de 2016, de <http://www.who.int/features/qa/18/es/>

Organización Mundial de la Salud. (Febrero de 2012). *Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos.* Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de Serie de documentos técnicos de la OMS sobre dispositivos médicos: <http://apps.who.int/medicinedocs/documents/s21566es/s21566es.pdf>

Orozco, R. (2009). *Implementación de mantenimiento basado en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en Buzca S.A.* (Tesis de grado) Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7881/2/129522.pdf>

Páez, A., & Montoya, J. (2012). *Diseño de un plan de lubricación centrado en confiabilidad para el sector industrial.* Recuperado el 23 de Octubre de 2016

Pimiento, J., García, J., & Prieto, I. (2011). *Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad para una máquina prensa para la fabricación de clavos en una empresa manufacturera.* (Tesis de grado) Escuela Colombiana de Carreras Industriales, Bogotá, Colombia. Recuperado el 23 de Octubre de 2016

Piñeros, L., & Castaño, L. (2003). *Estudio de confiabilidad del sistema de distribución de Pereira utilizando el método de simulación Montecarlo.* (Tesis de grado) Universidad

Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de http://www.utp.edu.co/~planeamiento/prod_aca/tesis/Confiabilidad%20distribucion.pdf

Prat, M. (2014). *Análisis de fiabilidad, criticidad, disponibilidad, capacidad de mantenimiento y seguridad de una impresora digital*. (Tesis de grado) Universitat Politècnica de Catalunya, España. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/23229/Resum.pdf>

Ramírez, Y. (2012). *Análisis de confiabilidad para la flota de aeronaves de la Escuela de Aviación del Pacífico*. (Tesis de grado) Universidad de San Buenaventura, Bogotá Colombia. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/69049.pdf>

ReliabilityWeb. (SF). *El cálculo de la Confiabilidad*. Recuperado el 8 de Octubre de 2016, de <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-calculo-de-la-confiabilidad/>

Renovetec. (2013). *¿Qué es un plan de mantenimiento?* Recuperado el 1 de Octubre de 2016, de <http://www.elplandemantenimiento.com/index.php/que-es-un-plan-de-mantenimiento>

Renovetec. (SF). *Formas de elaborar un plan de mantenimiento*. Recuperado el 1 de Octubre de 2016, de <http://www.elplandemantenimiento.com/index.php/tecnicas-de-elaboracion-de-plan-de-mantenimiento>

Rincón, W., & Sánchez, L. (2012). *Análisis de causa raíz (RCA) para optimizar la confiabilidad de los activos informáticos de la Previsora S.A. compañía de seguros*. (Tesis de grado) Escuela Colombiana de Carreras Industriales, Bogotá, Colombia. Recuperado el 23 de Octubre de 2016

Romero, J. L. (Noviembre de 2013). *Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón*. Recuperado el 8 de Octubre de 2016, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5311/fichero/5-+Analisis+de+criticidad.pdf>

Sánchez, R., Fernández, M., Martínez, E., & Valdez, R. (2011). *Análisis de confiabilidad de una planta de fuerza*. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://www.ineel.mx/boletin022014/inves.pdf>

Sociedad Americana Contra El Cáncer (American Cancer Society). (Febrero de 2015). *What is endoscopy?* Recuperado el 24 de Septiembre de 2016, de Exams and Test Descriptions : <http://www.cancer.org/treatment/understandingyourdiagnosis/examsandtestdescriptions/endoscopy/endoscopy-what-is-endoscopy>